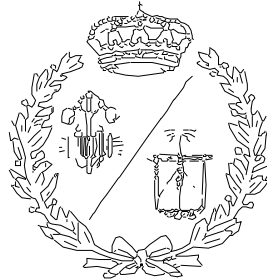


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Grado

**ADAPTACIÓN DE UNA VIVIENDA
UNIFAMILIAR EXISTENTE HACIA LA
AUTOSUFICIENCIA MEDIANTE ENERGÍAS
RENOVABLES (SOLAR-TÉRMICA, EÓLICA
Y BIOMASA)**

**(Refurbishment of an existing unifamily
housing towards self-sufficiency through
renewable energies (solar-thermal, wind
energy and biomass))**

Para acceder al Título de

GRADUADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

Autor: José Antonio Cano Hazas

Julio - 2019

ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTO 1. MEMORIA

DOCUMENTO 2. ANEXOS

DOCUMENTO 3. PLANOS

**DOCUMENTO 4. PLIEGO DE
CONDICIONES**

**DOCUMENTO 5. MEDICIONES Y
PRESUPUESTO**

DOCUMENTO 1.

MEMORIA

DOCUMENTO 1. MEMORIA

DOCUMENTO 1. MEMORIA	4
1 OBJETO	9
2 ALCANCE	9
3 ANTECEDENTES	10
3.1 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA	10
3.2 BIOMASA	13
3.3 MINI-EÓLICA	14
4 LOCALIZACIÓN DE LA VIVIENDA	15
4.1 SITUACIÓN	15
4.2 EMPLAZAMIENTO	17
4.3 DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN	18
5 ESTADO ACTUAL DE LAS INSTALACIONES	21
6 ESQUEMA PROPUESTO PARA SUMINISTRO TÉRMICO	23
7 ESQUEMA PROPUESTO PARA SUMINISTRO ELÉCTRICO	26
8 DIMENSIONADO DE INSTALACIONES	26
8.1 INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA	26
8.1.1 Datos de partida	26
8.1.2 Sistema de captación	27
8.1.3 Sistema de acumulación	45
8.1.4 Sistema de intercambio	48
8.1.5 Sistema hidráulico	51
8.1.6 Sistema de disipación térmica	58
8.1.7 Sistema de regulación y control	59
8.2 INSTALACIÓN DE ENERGÍA AUXILIAR	62
8.2.1 Envoltente térmica de la vivienda	62
8.2.2 Coeficientes globales de transferencia de calor	64
8.2.3 Cargas térmicas	69
8.2.4 Sala de máquinas	72
8.3 INSTALACIÓN MINIEÓLICA	78
8.3.1 Recurso eólico	78
8.3.2 Tipo de instalación	81
8.3.3 Tipo y comparación de aerogeneradores	82

8.3.4 Cálculo de potencia	84
8.3.5 Instalación y montaje	91
8.3.6 Cálculo línea eléctrica	96
9 ESTUDIO DE VIABILIDAD	103
10 BIBLIOGRAFÍA	105

ÍNDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Esquema instalación solar térmica de baja temperatura	12
Ilustración 2. Situación de la comunidad autónoma	16
Ilustración 3. Localización de la vivienda en la localidad de Matienzo	16
Ilustración 4. Parcela y emplazamiento de la vivienda	17
Ilustración 5. Emplazamiento de la vivienda	17
Ilustración 6. Caldera de Baxi Gavina de gasoil	22
Ilustración 7. Instalación centralizada para ACS y Calefacción en un edificio	24
Ilustración 8. Instalación distribuida para ACS y Calefacción en un edificio	25
Ilustración 9. Radiación solar global media anual en el municipio	31
Ilustración 10. Radiación solar global media diaria anual	32
Ilustración 11. Contribución solar mínima anual para ACS en %	32
Ilustración 12. Conexión en serie de los captadores	39
Ilustración 13. Conexión en paralelo de los captadores	39
Ilustración 14. Conexión mixta (serie-paralelo) de los captadores	40
Ilustración 15. Representación del ángulo de azimut	41
Ilustración 16. Representación del ángulo de inclinación	41
Ilustración 17. Elementos cercanos a la vivienda	43
Ilustración 18. Estructura soporte tipo	44
Ilustración 19. Ánodo de sacrificio de magnesio utilizado en el tratamiento anticorrosión	47
Ilustración 20. Acumulador con tratamiento anticorrosión por ánodos de sacrificio	48
Ilustración 21. Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato	57
Ilustración 22. Orientación de las fachadas	63
Ilustración 23. Orientación de las fachadas	64
Ilustración 24. Designación según aplicación con combustible tipo 3	77
Ilustración 25. Ubicación de la estación meteorológica seleccionada en meteocantabria	79
Ilustración 26. Datos referentes a la estación meteorológica de Ramales de la Victoria	80
Ilustración 27. Aerogenerador de eje horizontal	83
Ilustración 28. Aerogeneradores de eje vertical	84
Ilustración 29. Ejemplo de la variación en la distribución de Weibull variando el factor de forma K	85

Ilustración 30. Ajuste lineal de los datos registrados por la estación meteorológica	87
Ilustración 31. Distribución de Weibull en el emplazamiento de la instalación	88
Ilustración 32. Curva de potencia del aerogenerador Enair E30PRO.....	89
Ilustración 33. Curva de carga general de un aerogenerador.....	90
Ilustración 34. Características y dimensiones técnico-constructivas del Enair E30PRO.....	94
Ilustración 35. Dimensiones del inversor eólico Solis-1P10K-4G.....	96
Ilustración 36. Demanda de referencia a 60°C.....	122
Ilustración 37. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado.....	123
Ilustración 38. Valor del factor de centralización	123
Ilustración 39. Temperatura media mensual de agua de red (°C)	125
Ilustración 40. Factor de corrección k para superficies inclinadas.....	127
Ilustración 41. Radiación solar global media anual en el municipio.....	128
Ilustración 42. Media de horas de luz el día 15 de marzo.....	130
Ilustración 43. Rendimiento de los captadores	134
Ilustración 44. Pérdidas límite.....	135
Ilustración 45. Método gráfico de pérdidas de orientación e inclinación.....	136
Ilustración 46. Concentración en peso de fluido anticongelante	138
Ilustración 47. Curvas de la concentración de propilenglicol en función de la viscosidad	139
Ilustración 48. Pérdidas por rozamiento en (mm.c.a/m) para tuberías de cobre.....	141
Ilustración 49. Diámetros estándar para tuberías de cobre según norma UNE	142
Ilustración 50. Espesores mínimos de aislantes.....	143
Ilustración 51. Longitud equivalente de tubería en m para distintos accesorios	145
Ilustración 52. Características técnicas del captador.....	146
Ilustración 53. Curvas características de la bomba del circuito primario.....	148
Ilustración 54. Curvas características de la bomba del circuito secundario.....	154
Ilustración 55. Estructura de la cubierta	158
Ilustración 56. Estructura de la ventana.....	159
Ilustración 57. Estructura de la ventana.....	160
Ilustración 58. Composición del suelo.....	161
Ilustración 59. Estructura del tabique de partición interior	162
Ilustración 60. Estructura del techo	163
Ilustración 61. Coeficientes de transferencia de calor en los puentes térmicos	164
Ilustración 62. Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato	175
Ilustración 63. Diámetros estándar para tuberías termoplásticas	176
Ilustración 64. Diagrama de Moody	178
Ilustración 65. Curvas características bomba WILO Stratos PICO.....	179
Ilustración 66. Curvas características bomba WILO Yonos PICO.....	183

Ilustración 67. Sección de los conductores según la tipología de la instalación	194
Ilustración 68. Intensidades de cortocircuito para conductores de cobre con aislamiento termoestable	196
Ilustración 69. Sección de los conductores según la tipología de la instalación para tipos D1/D2	197
Ilustración 70. Valores de la resistividad en función del terreno	208
Ilustración 71. Diámetro exterior de los tubos para canalización superficial	209
Ilustración 72. Diámetro exterior de los tubos para canalización enterrada	210

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Particiones y superficie de la vivienda.	19
Tabla 2. Propiedades del fluido caloportador (propilenglicol)	50
Tabla 3. Señales de entrada y salida del regulador.	61
Tabla 4. Factura resumen mayo 2018	118
Tabla 5. Factura resumen junio 2018	118
Tabla 6. Factura resumen julio 2018	118
Tabla 7. Factura resumen agosto 2018	119
Tabla 8. Factura resumen septiembre 2018	119
Tabla 9. Factura resumen octubre 2018	119
Tabla 10. Factura resumen noviembre 2018	120
Tabla 11. Factura resumen diciembre 2018	120
Tabla 12. Factura resumen enero 2019	120
Tabla 13. Factura resumen febrero 2019	121
Tabla 14. Factura resumen marzo 2019	121
Tabla 15. Factura resumen abril 2019	121
Tabla 16. Cálculo demanda energética	126
Tabla 17. Valores de α según la contaminación de la zona	128
Tabla 18. Energía térmica aprovechada del sol por mes	131
Tabla 19. Variación de la temperatura en el rango de trabajo (enero a junio)	133
Tabla 20. Variación de la temperatura en el rango de trabajo (julio a agosto)	133
Tabla 21. Pérdidas de carga lineal en las tuberías del circuito primario	144
Tabla 22. Pérdidas de carga en los accesorios del circuito primario	146
Tabla 23. Volumen de fluido en el interior de las tuberías	149
Tabla 24. Pérdidas de carga lineal en las tuberías del circuito secundario ..	152
Tabla 25. Pérdidas de carga en los accesorios del circuito secundario	153
Tabla 26. Volumen de fluido en el interior de las tuberías y la bomba	155
Tabla 27. Volumen de fluido en el interior de intercambiador, acumulador e interacumulador auxiliar	155
Tabla 28. Materiales del muro de carga	157

Tabla 29. Materiales de la cubierta	158
Tabla 30. Materiales del suelo	161
Tabla 31. Materiales del suelo	162
Tabla 32. Materiales del techo	163
Tabla 33. Pérdidas cocina planta baja.....	165
Tabla 34. Pérdidas salón/comedor planta baja.....	166
Tabla 35. Pérdidas baño planta baja	166
Tabla 36. Pérdidas dormitorio 1 planta baja.....	167
Tabla 37. Pérdidas dormitorio 2 planta baja.....	167
Tabla 38. Pérdidas dormitorio 3 planta baja.....	168
Tabla 39. Pérdidas pasillo planta baja.....	168
Tabla 40. Pérdidas salón/comedor planta 1.....	169
Tabla 41. Pérdidas cocina planta 1.....	169
Tabla 42. Pérdidas baño planta 1.....	170
Tabla 43. Pérdidas dormitorio 1 planta 1.....	170
Tabla 44. Pérdidas dormitorio 2 planta 1.....	171
Tabla 45. Pérdidas dormitorio 3 planta 1.....	171
Tabla 46. Pérdidas pasillo planta 1.....	172
Tabla 47. Demanda energética de ACS con biomasa.....	173
Tabla 48. Consumo de agua por cada aparato	174
Tabla 49. Cálculos para la distribución de Weibull	187
Tabla 50. Potencia y energía del Aerogenerador 1	188
Tabla 51. Potencia y energía del Aerogenerador 2.....	190
Tabla 52. Potencia y energía del Aerogenerador 3.....	191
Tabla 53. Consumo eléctrico de la vivienda.....	192
Tabla 54. Cálculo del flujo de caja y VAN	225
Tabla 55. Cálculo del flujo de caja y VAN, sin el sistema eólico	226

1 OBJETO

El objetivo principal de este trabajo fin de grado es en primer lugar analizar la demanda eléctrica y térmica actual de una vivienda unifamiliar ya existente para obtener sus consumos actuales y de esta forma conocer las demandas que deben ser cubiertas con energías renovables. También se evaluarán los sistemas empleados actualmente para dar cobertura a dicha demanda (conexión a la red eléctrica para cubrir las necesidades de energía eléctrica y una caldera de gasoil para satisfacer las exigencias térmicas de calefacción y cobertura de agua caliente sanitaria, ACS).

Una vez analizada la situación existente en la vivienda a estudiar (situada en el área de Matienzo de Ruesga con una superficie de 220 m², dividida en 2 plantas con 6 habitaciones cada una, donde residen un total de 6 personas), se analizarán distintas posibilidades para lograr sustituir las energías convencionales actualmente empleadas en la cobertura de la demanda energética, por energías renovables, solar-térmica, biomasa, mini-eólica.

2 ALCANCE

En este trabajo fin de grado se ha realizado el dimensionamiento de las instalaciones necesarias para intentar cubrir la demanda energética de una vivienda unifamiliar mediante energías renovables (solar-térmica, biomasa y eólica). En lo referente a la demanda térmica se ha considerado la sustitución de la caldera convencional de gasoil existente en la instalación por energía solar térmica y por biomasa. A partir del estudio de la demanda térmica de agua caliente sanitaria (ACS) a cubrir se ha dimensionado el número de captadores a colocar siguiendo lo establecido en el Código Técnico de la Edificación (CTE) y en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE). Se ha dimensionado también tanto el circuito primario como secundario, calculando la potencia del intercambiador de calor y la capacidad del acumulador, así como los diámetros de las tuberías y su aislamiento, además de calcular las pérdidas de carga en ellas

para seleccionar la bomba más adecuada para cada circuito. En cuanto al sistema auxiliar de biomasa se han calculado las pérdidas por transferencia de calor en la vivienda para obtener la demanda energética máxima de calefacción y así poder seleccionar la potencia de la caldera a instalar. Al igual que para el sistema solar se ha dimensionado la capacidad del interacumulador, los diámetros de las tuberías de ACS, calculando las pérdidas de carga en las mismas para la selección de las bombas de ACS y calefacción, todo ello según el CTE. En esta parte del trabajo se ha llevado a cabo también el cálculo del volumen del silo de almacenamiento de pellets, así como la distribución de la sala de calderas incluyendo la selección de la chimenea, según la normativa UNE.

Por lo que respecta al sistema eléctrico se ha intentado sustituir la conexión a red convencional por aerogeneradores eléctricos de pequeña potencia con almacenamiento en baterías, colocando un controlador de carga para distribuir la corriente y un inversor para transformarla, dimensionando la instalación eléctrica de los mismos, según el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias. En este dimensionado se ha realizado el cálculo de la sección de los conductores que forman la instalación, las puestas a tierra de la misma y los elementos de protección.

Por último se ha analizado la viabilidad económica de toda la instalación al completo y sustituyendo únicamente la parte térmica de la vivienda.

3 ANTECEDENTES

3.1 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de una fuente de energía inagotable como es el sol para producir energía.

Se puede aprovechar para dos fines [1]:

- Bien sea para producir electricidad calentando un fluido caloportador que pasa por unos serpentines en un colector con la radiación del sol hasta que se produce vapor de agua que luego se utiliza para mover una turbina y producir energía eléctrica.

- O bien para calentar agua empleado para calefacción o para cubrir el consumo de ACS.

Los componentes principales de una instalación solar-térmica de baja temperatura para aplicación residencial son [1]:

- Colectores solares: son los elementos que capturan la radiación solar y la convierten en energía térmica (calor). Pueden ser de diferentes tipos según la temperatura a la que trabajan:
 - Colectores de baja temperatura: aportan calor útil a temperaturas inferiores a 65°C.
 - Colectores de media temperatura: aportan calor útil entre los 100 y 300°C. Dentro de este grupo se encontrarían los captadores solares de vacío que permiten emplear la energía solar térmica para aplicaciones de calefacción con radiadores trabajando a temperaturas de 80°C.
 - Colectores de alta temperatura: aportan calor útil a temperaturas superiores a 500°C. Este tipo de colectores serían los empleados en aplicaciones de generación eléctrica, ya que estas elevadas temperaturas permiten la obtención de vapor de agua empleado como fluido en ciclos de potencia como ciclo Rankine.
- Sistema hidráulico: en una instalación solar de baja temperatura se distinguen los siguientes circuitos:
 - **Circuito primario solar:** circuito encargado de transportar el fluido caloportador desde los captadores hasta el intercambiador y de devolverle hasta los mismos de nuevo, por lo tanto, es un circuito cerrado. Al estar ubicado en el exterior de la vivienda, el fluido caloportador debe ser un fluido anticongelante para evitar la solidificación del mismo a temperaturas muy bajas en invierno.
 - **Circuito secundario solar:** es el circuito que desempeña la función de transportar el agua caliente desde el intercambiador hasta el acumulador, devolviendo el agua más fría de la parte inferior del acumulador al intercambiador de nuevo para volver a repetir el proceso de calentamiento. El fluido de este circuito es agua de red apta para el consumo.

- **Circuito de distribución:** es el encargado de distribuir el agua caliente desde el acumulador hasta los diferentes puntos de consumo de la vivienda para ser utilizada.
- Intercambiador: calienta el agua de consumo a través del calor captado de la radiación del sol.
- Acumulador: Es un depósito donde se acumula el agua caliente y a donde llega la fría para ser calentada de nuevo antes de ser devuelta al intercambiador. Consta de una entrada para la fría y una salida para la caliente.
- Bombas hidráulicas: Son las encargadas de bombear el agua a través del circuito primario y secundario, aportándole la presión suficiente. Suele haber 2 en cada circuito (primario y secundario) trabajando en 2 turnos de 12 horas cada uno para alargar su vida útil evitando que sufran demasiado.
- Vaso de expansión: Es el encargado de absorber las variaciones de volumen del fluido que circula por el interior de las tuberías.
- Circuito hidráulico: es el entramado de tuberías encargadas de alojar el fluido en su interior y de portar el calor, además de transportar el fluido a los diferentes puntos, están recubiertas con un aislante térmico.
- Panel de control: Desde donde se lleva todo el control de la instalación (temperaturas, presiones, datos de regulación, bombas).

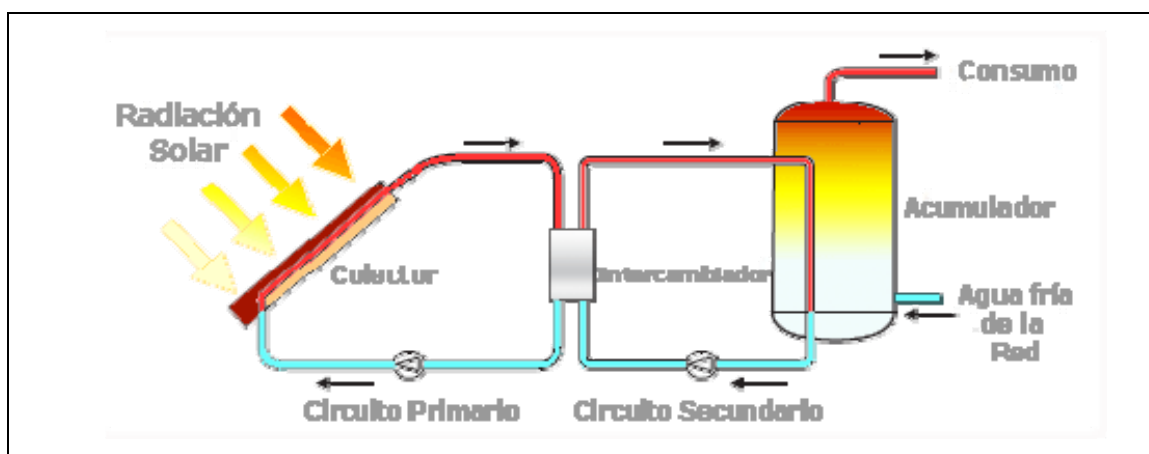


Ilustración 1 Esquema instalación solar térmica de baja temperatura (Fuente: [2]).

Las aplicaciones de la energía solar térmica son variadas y dependen de la temperatura de trabajo de los colectores, entre las más destacadas se encuentran [1]:

- Generación de electricidad.
- Calefacción.
- Producción de agua caliente sanitaria (ACS). En verano suele ser capaz de cubrir toda la demanda y en invierno se utiliza de apoyo a otro sistema.
- Procesos de refrigeración de edificios o en procesos industriales
- Secaderos de productos agrícolas.
- Desalinización mediante energía solar.

En cuanto a esta energía se puede decir que en el año 2017 un 2,3% de la potencia instalada en España era solar-térmica, con la que se consigue cubrir el 2,1% de la demanda eléctrica [3]. Aunque no son datos muy esperanzadores esta energía está en pleno desarrollo ya que es un recurso inagotable del que en un futuro no muy lejano habrá que servirse. Además, requiere bajo mantenimiento y sus instalaciones tienen una larga vida útil.

3.2 BIOMASA

Esta energía renovable consiste en el aprovechamiento de materia orgánica, residuos orgánicos en su mayor medida (agrícolas, ganaderos, forestales, agroalimentarios, urbanos, etc.) mediante la combustión de estos o la transformación en otras sustancias que puedan ser utilizadas posteriormente [4].

Se puede clasificar según sus residuos sean de origen natural como (árboles, plantas de cultivo, hojas) o de origen residual como pueden ser el serrín, estiércol animal, basura urbana, etc.

Se distingue entre [4]:

- **Producción directa de biomasa:** Se trata de biomasa bruta, recursos forestales, producciones agrícolas, cuyo fin es ser cultivada únicamente para producir biomasa.

- **Producción indirecta de biomasa:** con esto se refiere a todos los residuos derivados de materias bien sean de origen vegetal, animal o residuos urbanos.

Sus aprovechamientos principales son los siguientes [5, 6]:

- Aprovechamiento con fines eléctricos: se quema la biomasa sólida en una caldera para calentar el agua que circula por las tuberías obteniendo así vapor de agua el cual mueve una turbina para producir energía eléctrica. Se suele utilizar en centrales de gran escala para obtener rendimientos mayores y aceptables.
- Aprovechamiento con fines térmicos: Se quema la biomasa sólida en una caldera a mucha menor escala (niveles domésticos) que la mencionada anteriormente, para calentar un fluido que circula por el interior de unas tuberías bien sea con el fin de calentar agua para uso doméstico o a modo de calefacción.
- Aprovechamiento como combustible: otro uso de la energía de la biomasa es la obtención de combustibles como el etanol, metanol y el biodiesel.

Cabe destacar que la biomasa es la única de las energías renovables que permite el almacenamiento de energía en forma de moléculas hidrocarbonadas estables y disponibles para ser utilizadas en cualquier momento.

3.3 MINI-EÓLICA

La energía mini-eólica consiste en el aprovechamiento de la energía del viento mediante la utilización de aerogeneradores de baja potencia, es decir nunca superiores a 100 kW, y con una superficie de barrido máxima de 200 m²[7].

Los principales tipos de aerogeneradores que hay son [7]:

- **Eje horizontal:** el rotor está orientado en la dirección del viento. En la mayoría de aerogeneradores de este tipo el rotor está a barlovento de la torre por lo que se requiere de algún sistema de orientación para el aerogenerador. Son más eficientes que las de eje vertical, pero sufren más con las continuas orientaciones.

- **Eje vertical:** estas turbinas están siempre orientadas a la dirección predominante del viento ya que son simétricas. Son menos ruidosas que las anteriores, pero también son menos eficientes y están menos probadas.

Los principales componentes de un aerogenerador de pequeña potencia son [7]:

- Rotor: encargado de convertir la energía cinética del viento en energía mecánica, existen distintos modelos con diferente número de palas y su configuración puede ser horizontal o vertical.
- Generador eléctrico: unido al rotor, es el encargado de convertir la energía mecánica en energía eléctrica.
- Aleta de cola: es el sistema de orientación del aerogenerador.
- Inversor: Es el encargado de convertir la energía eléctrica generada en energía apta para ser consumida en las viviendas.
- Limitador de potencia: Sistema de seguridad encargado de regular la velocidad.

Este tipo de energía está evolucionando rápidamente de cara a conseguir una fiabilidad mucho mayor como la ya consolidada energía eólica a nivel de parque eólico. Además, la energía mini-eólica está consiguiendo unos niveles de ruido muy bajos lo que la está aproximando a las zonas residenciales. Se está trabajando también en reducir los costes sin rebajar la calidad para ser más asequible.

4 LOCALIZACIÓN DE LA VIVIENDA

4.1 SITUACIÓN

La edificación sobre la que se basa el siguiente proyecto se encuentra construida en el municipio de Ruesga en la localidad de Matienzo, perteneciente a la comunidad autónoma de Cantabria. La vivienda unifamiliar de pequeña altura se encuentra en una zona rural en el barrio La Vega en una zona apartada del núcleo urbano sin muchas viviendas alrededor.



Ilustración 2. Situación de la comunidad autónoma (Fuente: [8]).

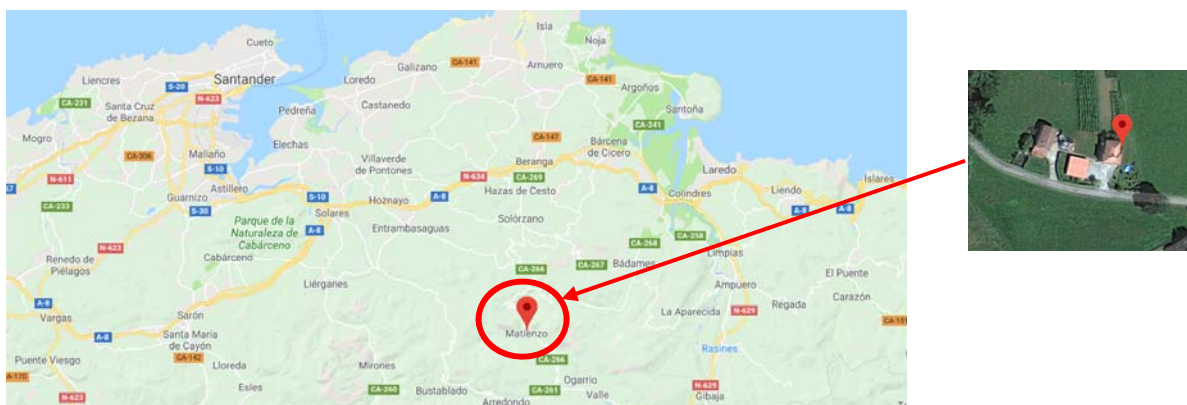


Ilustración 3. Localización de la vivienda en la localidad de Matienzo (Fuente: [9]).

4.2 EMPLAZAMIENTO

La vivienda en la que se va a llevar a cabo esta instalación se encuentra en el barrio La Vega, 39812 Matienzo de Ruesga, y se ubica en la parcela número 265, como se muestra en las siguientes imágenes:

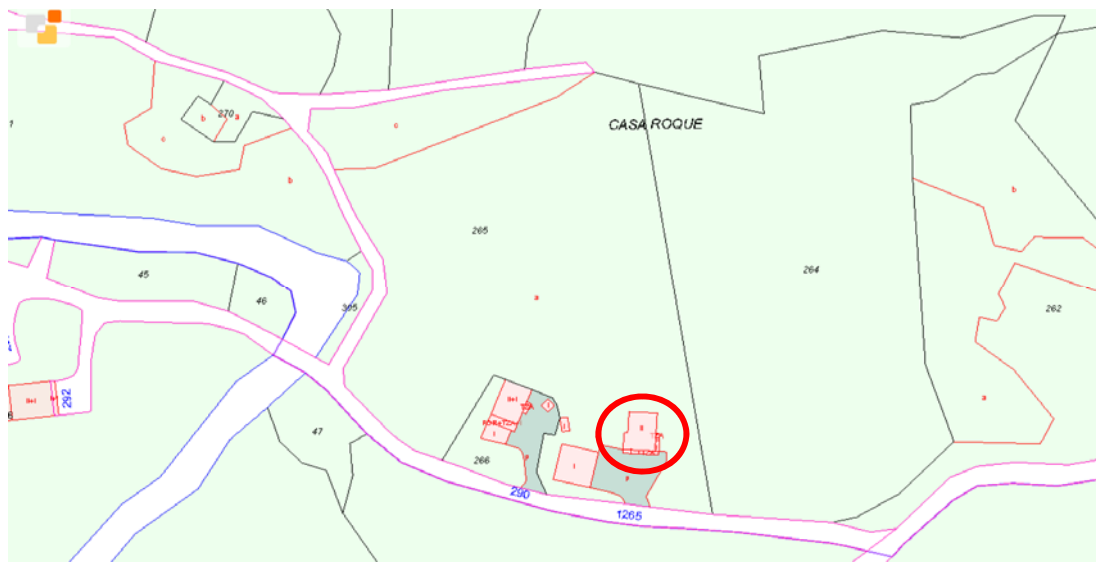


Ilustración 4. Parcela y emplazamiento de la vivienda (Fuente [10]).



Información de parcelas e inmuebles

PARCELA CATASTRAL 39067A00100265

Croquis


Fotografía fachada


Parcela construida sin división horizontal
BO VEGA 1265 Polígono 1 Parcela 265 0001048 00VN59E
CASA ROQUE. RUESGA (CANTABRIA)
8.598 m²

INFORMACIÓN DE LOS INMUEBLES

39067A001002650000LO
Agrario | 286 m² | 1985

Ilustración 5. Emplazamiento de la vivienda (Fuente: [10]).

4.3 DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN

4.3.1 Descripción general

La edificación se encuentra construida en una parcela de 8.582 m² en Matienzo de Rueda como ya se ha mencionado anteriormente, y más concretamente en el Polígono 1 Parcela 265.

Está dividida en 2 plantas, constituyendo cada una de ellas una vivienda independiente. Ambas viviendas comparten un patio situado en la entrada a la vivienda inferior orientada al este a través del cual se realizará el acceso al interior de la planta baja y otro en la zona frontal de la vivienda orientado al sur. Comparten además una zona ajardinada situada al este de la vivienda y una corralada en el frente.

El acceso a la planta superior se realiza a través de una escalera situada en el exterior de la edificación por el lado este de la misma.

Cada una de las 2 viviendas cuenta con una superficie construida de 102 m² de los cuales 89 son habitables y repartidos en 3 habitaciones, baño, salón comedor, y cocina.

4.3.2 Descripción de la geometría del local, volumen y superficie

El edificio parte de una base rectangular rematada con una cubierta a cuatro aguas. La fachada principal está orientada hacia el sur, por donde se realizará el acceso tanto peatonal como con vehículos a la corralada.

Se encuentra ubicada en la zona más al sureste de toda la parcela, pero siempre respetando las distancias mínimas tanto con la parcela colindante como con la carretera de la red municipal que hay bordeando el lindero sur de la parcela.

Los armarios de contadores tanto para agua como para electricidad se encuentran en el lado este de la vivienda adjuntos a la edificación.

A continuación, se ha detallado las particiones de la vivienda por planta (Tabla 1). Además, se ha calculado la superficie útil y la construida de la vivienda tanto interior como exterior.

SUPERFICIE ÚTIL (m²)				
PLANTA	USO	VIVIENDA		
		INTERIOR	EXTERIOR	ANEXOS
BAJA	PATIO		10,88	
	RECIBIDOR	5,79		
	PASILLO	2,65		
	ESCALERA		7,76	
	COCINA	15,47		
	SALON/COMEDOR	9,85		
	ASEO	4,90		
	DORMITORIO 1	8,85		
	DORMITORIO 2	10,44		
	DORMITORIO 3	11,06		
	CUARTO DE CALDERAS			15,76
TOTAL ÚTIL PLANTA BAJA VIVIENDA		69,00	18,64	15,76
PRIMERA	PORTAL		2,40	
	RECIBIDOR	4,86		
	PASILLO	2,69		
	BALCÓN		4,88	
	COCINA	12,48		
	SALON/COMEDOR	19,08		
	ASEO	4,90		
	DORMITORIO 1	8,85		
	DORMITORIO 2	10,44		
	DORMITORIO 3	11,06		
TOTAL ÚTIL PRIMERA PLANTA		74,35	7,28	0,00
TOTAL ÚTIL VIVIENDA		143,35	25,92	15,76
		185,03		
SUPERFICIE CONSTRUIDA (m²)				
PLANTA	USO	INTERIOR	EXTERIOR	ANEXOS
BAJA	VIVIENDA	83,82	18,64	15,76
PRIMERA	VIVIENDA	88,74	7,52	0,00
TOTAL CONSTRUIDO VIVIENDA		172,56	26,16	15,76
		214,48		
SUPERFICIE TOTAL PARCELA (m²)				
8.582 m²				

Tabla 1. Particiones y superficie de la vivienda (Fuente: Elaboración propia).

4.3.3 Cerramientos

- Estructura: el edificio cuenta con una estructura de hormigón armado en la planta baja y un forjado de primera. La planta baja tendrá un espesor de 10 cm y está construida sobre una solera sanitaria aislada en la zona habitable. La primera planta cuenta con un forjado de vigueta con un canto de 20+4 cm. Los muros de carga tanto de la primera como de la planta baja son de ladrillo y están contruidos a doble hoja, con un espesor de cámara interna de 5cm con llaves. La estructura de la cubierta está realizada en madera apoyada tanto en los muros de carga a lo largo de su perímetro como en estructuras metálicas empotradas en los propios muros. El forjado de esta es un forjado con jácenas principales de hormigón y viguetas apoyadas sobre ellas con una sección de 10x15 cm. Presenta un entablado de madera de abeto fijado a las viguetas de calidad C27 según la norma UNE EN 338 [11], tratada con un tratamiento funguicida contra los agentes xilófagos. Los muros son de muro capuchino de doble hoja con ladrillo perforado armados con junta de mortero mixto de 1 cm de espesor y una resistencia de cálculo de 22 kg/cm^2 .
- Sistema de compartimentación: la compartimentación interior de la vivienda está realizada con ladrillo hueco doble de 25x12x8 cm a tabicón recibido con mortero de cemento y por otro lado con el cuarto de calderas mediante tabicón de doble hoja de 9cm con cámara interior de 5 cm.
- Sistema de envolvente: queda definida por la solera de separación con el terreno, las fachadas de cerramiento exterior y la cubierta. Está correctamente dimensionada dotando a la vivienda de aislamiento térmico y acústico según las exigencias mínimas establecidas en el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) así como en el Documento Básico de Protección frente al ruido (DB-HR), ambos recogidos en el Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Sistema de acabados: estos acabados superficiales responden correctamente a las exigencias mínimas establecidas por el Código Técnico de la Edificación recogidas en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

5 ESTADO ACTUAL DE LAS INSTALACIONES

5.1 INSTALACIÓN TÉRMICA

La vivienda cuenta con una única instalación térmica para ambas viviendas, la cual se utiliza tanto para la producción de agua caliente sanitaria, así como para la producción de calor empleado en calefacción por radiadores de alta temperatura ($\sim 80^{\circ}\text{C}$).

Dicha instalación se encuentra ubicada en un cuarto de calderas habilitado para ello en la zona trasera de la vivienda anexionado a esta misma. En dicho cuarto se encuentra la caldera de gasoil y su correspondiente depósito de 700 litros.

La caldera de gasoil es el modelo BAXI GAVINA GTIF CONFORT SP de 48 kW de potencia con una presión de trabajo de 3 bar y una temperatura máxima de trabajo de 100°C . Fabricada a fecha de febrero de 2015 ya que fue en ese mismo año cuando sustituyó a la anterior.

La instalación consta además de la caldera de un depósito de gasoil situado en la misma estancia y los pertinentes elementos de la caldera como son: sistemas de control y válvulas. Por otra parte, la instalación carece de interacumulador, un elemento bastante importante y obligatorio hoy en día, pero al ser una instalación antigua montada en el año 1985 no cumple con las normas actuales (Código Técnico de la Edificación (CTE) y Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE)), ya que estas no habían entrado en vigor en esa fecha.

La distribución a la vivienda se realiza mediante un entramado de tuberías de ida y vuelta, que discurre a lo largo de todas las estancias por dentro de la vivienda, y situado ligeramente por encima de los rodapiés, a unos 20 cm del suelo, medida utilizada en la construcción de viviendas en aquella época para así aprovechar el calor que se pierde a través de las propias tuberías.

Una vez analizado el estado actual de las instalaciones, queda claro que la eficiencia energética en esta vivienda no es la más adecuada, ya que, al ir las tuberías vistas, aunque es verdad que el calor perdido se aprovecha para calentar la casa se necesita utilizar más cantidad de calor y un mayor tiempo de

funcionamiento para calentar los propios radiadores ya que el agua llega a ellos más fría, sobre todo a los últimos radiadores del circuito.

Además, la caldera se encuentra en funcionamiento todo el año en invierno para calefacción y ACS y en el caso del verano solo para ACS. El agua actualmente se calienta en la caldera existente hasta 75°C.



Ilustración 6. Caldera de Baxi Gavina de gasoil (Fuente: Elaboración propia).

La puesta en marcha y apagado de la caldera es otro tema importante a tratar ya que la única forma de hacerlo es acudiendo al cuarto de caldera y haciéndolo manualmente, además no cuenta con ningún botón de parada de emergencia en caso de ser necesario.

En estos años tanto la caldera como la pertinente instalación asociada a ella ha contado con diversas revisiones generalmente en periodos bianuales en los que se han sustituido algunas piezas deterioradas debido al paso del tiempo y a diversas averías como bombas, latiguillos, quemador.

6 ESQUEMA PROPUESTO PARA SUMINISTRO TÉRMICO

Aunque existen varios tipos de configuraciones posibles a la hora de adaptar una nueva instalación a otra ya existente, por norma general siempre se suele centrar la atención en dos esquemas. La distribución centralizada y la descentralizada o distribuida.

- Distribución centralizada

Este tipo de instalación consiste en que todos los componentes que la conforman (intercambiador, acumulador, etc.) se encuentran concentrados en una misma ubicación, sin contar los captadores solares, ya que estos se ubicarán bien en el tejado de la vivienda o en una zona próxima habilitada para ellos.

El funcionamiento que sigue el sistema consiste en recoger el fluido caloportador de los captadores, el cual se encuentra caliente, para después hacerlo pasar por el intercambiador de calor donde el fluido cede calor al agua que posteriormente se lleva al acumulador solar. Una vez hecho esto, el agua se dirige al sistema de apoyo secundario para volver a elevar su temperatura si fuera necesario para su utilización. Por último, el agua se reparte a través del circuito hidráulico a ambas viviendas y una vez dentro de ellas a los puntos donde se va a consumir en la vivienda, ya sea para ACS o para calefacción.

Este sistema se utiliza en numerosas ocasiones ya que es el más económico pues se requieren menos depósitos de acumulación al estar está centralizada en un único habitáculo. Al mismo tiempo este sistema centralizado necesita que la zona donde se va a centralizar la instalación sea amplia para poder incluirla entera allí. Además, al ser toda ella común a todas las viviendas del edificio se deben instalar contadores independientes para conocer el consumo de cada una de ellas [12].

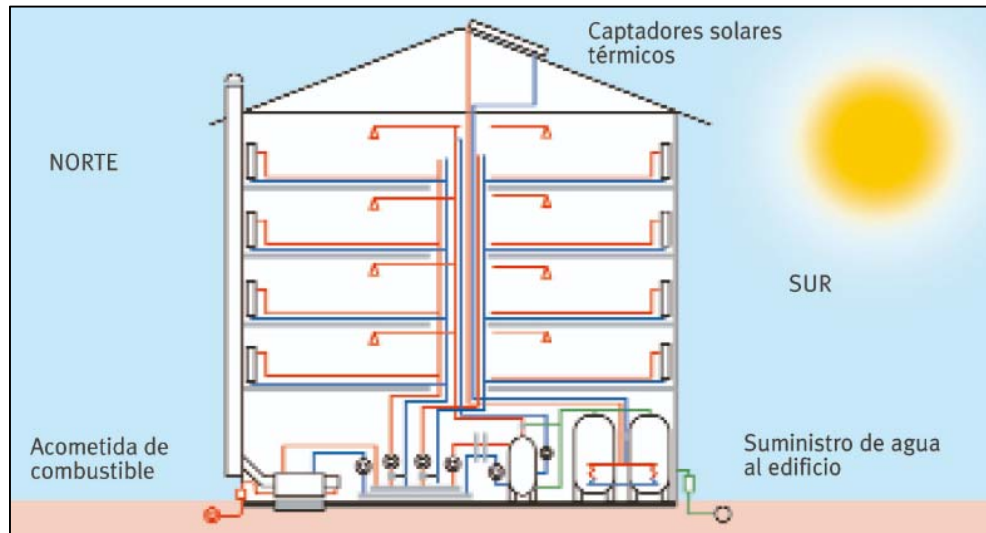


Ilustración 7. Instalación centralizada para ACS y Calefacción en un edificio (Fuente: [13]).

- Distribución descentralizada o de acumulación distribuida

Esta configuración al contrario que la centralizada tiene la mayoría de los elementos dispersos como su propio nombre indica, ya que comparte los captadores y el intercambiador, pero por el contrario son individuales tanto el sistema de acumulación como el sistema de apoyo o circuito secundario, por esto se llama descentralizada.

Este tipo de instalación funciona de la siguiente manera, en una primera etapa se recoge el fluido caloportador que procede de los captadores, y se conduce hasta el sistema de intercambio centralizado.

Posteriormente una etapa intermedia en la que este fluido se distribuye hasta las viviendas a través del circuito hidráulico para una vez allí acumularse en el acumulador individual del que dispone cada vivienda individualmente, donde se produce el aporte de energía en forma de calor con el sistema secundario.

Una vez hecho esto se entraría en lo que se le puede llamar la etapa final del proceso que consiste en distribuir el agua ya caliente a los puntos de consumo internos de la propia vivienda para su posterior utilización.

Este sistema puede ser útil en edificios en los que haya poca disponibilidad de zona común (patios, azoteas, zonas ajardinadas). No requiere de mucho espacio común en el edificio por lo anteriormente detallado, pero por el contrario si se requiere de bastante espacio en el interior de cada vivienda

para poder alojar tanto el sistema de acumulación como el de apoyo, con lo que se pierden metros útiles habitables. Además, tiene un gasto en depósitos y tuberías considerablemente más elevado que el centralizado, lo que es un factor importante a la hora de la valoración de implantar uno u otro sistema [14].

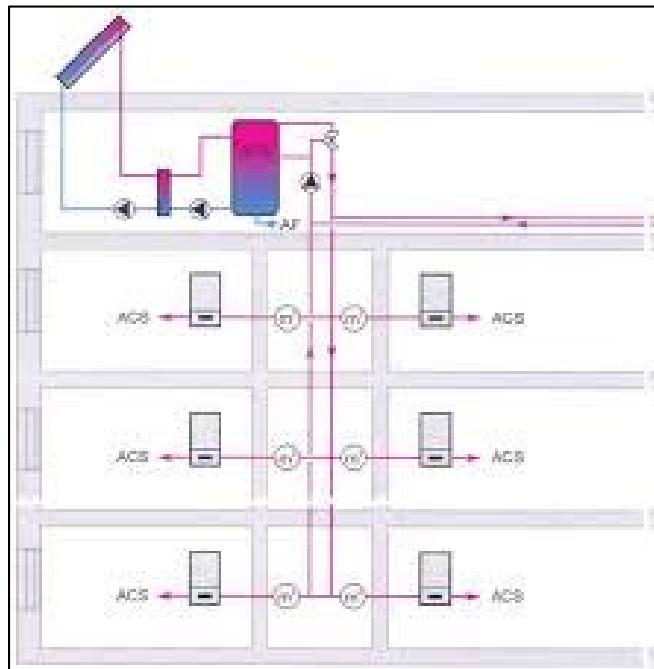


Ilustración 8. Instalación distribuida para ACS y Calefacción en un edificio (Fuente: [15]).

Dicho esto, la vivienda contará con una instalación de acumulación centralizada con todos sus componentes ubicados en el cuarto de calderas en la parte posterior de la casa desde donde se distribuye a los puntos de consumo de la vivienda, es decir, se utilizara las pautas de una instalación solar térmica de baja temperatura, por debajo de los 90°C, con circuito primario y secundario solares.

7 ESQUEMA PROPUESTO PARA SUMINISTRO ELÉCTRICO

El modelo elegido para cubrir la demanda eléctrica de la vivienda será un sistema basado en la generación de electricidad mediante energía mini-eólica.

Se utilizarán aerogeneradores de pequeña potencia para intentar cubrir el consumo eléctrico, basando el sistema en el consumo directo de lo producido en el mismo momento, intercalando esto con el almacenamiento de energía en bancos de baterías cuando la producción sea mayor que la demanda.

En cuanto a las posibles configuraciones que se podrán tener en función del acople de los aerogeneradores a la instalación eléctrica de la vivienda esta instalación será una instalación para el autoconsumo, ya que es el objetivo del presente proyecto.

Se calculará la potencia que se puede llegar a instalar en función del recurso eólico del que se disponga. Se dimensionará la instalación completa y se comparará con el consumo convencional de la vivienda, obtenido a partir de las facturas eléctricas de un año natural, cuyos datos de consumo están recogidos en el "Anexo I".

Como ventajas de este tipo de instalación se puede destacar que se elimina el gasto en la distribución y transporte de energía de la compañía eléctrica. Es una energía con un impacto ambiental prácticamente nulo con lo que se contribuye a reducción del cambio climático, además de tener un bajo coste de mantenimiento y operación.

8 DIMENSIONADO DE INSTALACIONES

8.1 INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA

8.1.1 Datos de partida

Se va a proceder a realizar una instalación solar térmica como se ha indicado anteriormente en la localidad de Matienzo de Ruesga, un pequeño pueblo situado

en la provincia de Cantabria en una zona rural y con una contaminación despreciable.

Los datos de partida con los que se cuenta son que la vivienda se encuentra en el municipio de Matienzo de Ruesga en la provincia de Cantabria situado a una altitud de 174 m sobre el nivel del mar (m.s.n.m) cuyas coordenadas son 43° 18' 51" Norte, 3° 35' 0" Oeste [16].

Se dispone también de las temperaturas mínimas e históricas en invierno [17] en dicho municipio:

- Tª mínima en invierno: -2,4°C
- Tª mínima histórica: -6,1°C

La instalación se trata de una instalación térmica centralizada con una caldera de Gasoleo C para producir calor tanto para calefacción como para la producción de agua caliente sanitaria.

La vivienda está formada por 2 plantas de 3 dormitorios cada una para la que está establecido que la temperatura de ACS sean 60°C la que será la temperatura de trabajo del sistema de calefacción y ACS.

8.1.2 Sistema de captación

En primer lugar, para el dimensionamiento del sistema de captación solar es necesario calcular la demanda de agua caliente (D_{ACS}) en la vivienda. Lo se puede hacer siguiendo dos procesos distintos:

- Calculando la demanda real mediante los consumos históricos de ACS de un año natural, de los que se dispone.
- A través de los valores unitarios que aparecen en el CTE DB HE-4, (año 2017), concretamente en la tabla 4.1.

Según lo citado anteriormente, se dispone de los consumos y facturas pertinentes para poder calcular la demanda de ACS, pero no es el proceso que se va a utilizar a la hora de dimensionar la instalación ya que sale un consumo menor que

utilizando el segundo método calculado en el "Anexo II. Apartado 1." y como siempre se va a trabajar con la situación más desfavorable, se utilizará este segundo método.

Dicha demanda la se obtiene a través del Documento Básico de Ahorro de Energía en el apartado Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria (DB-HE4) del Código Técnico de la Edificación (CTE), en la tabla 4.1 la cual recoge los consumos unitarios y diarios de ACS a 60°C en litros/día unidad según la función del edificio y a la temperatura de utilización de 60°C. La unidad de esta tabla será persona.

La temperatura utilizada (60°C) es la mínima establecida por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) para la acumulación de agua con el fin de evitar problemas de Legionelosis. Y por consiguiente la mínima habitual a la que trabajarán la mayor parte de los sistemas térmicos en viviendas.

Para obtener la demanda de ACS del edificio a dimensionar se dependerá del uso al que se dedique este, para aplicarlo a la tabla y obtener el valor correspondiente a dicho uso.

A continuación, se obtiene el número de ocupantes correspondientes a la vivienda según lo que establece el CTE (Documento Básico de Ahorro de Energía, DB-HE4), en la tabla 4.2.

Esta tabla vincula el número de dormitorios de cada vivienda con el número de personas que habitan en ella, siguiendo esto se calcula el número de personas del edificio (una vivienda unifamiliar dividida en dos plantas con tres dormitorios cada una).

Por lo tanto, con el consumo unitario diario y el número de personas se obtiene la demanda de ACS a 60°C en unidades de litros/día de la siguiente ecuación.

$$Demanda ACS (60^{\circ}C) = x \left(\frac{l}{dia \text{ persona}} \right) \cdot n^{\circ} \text{ personas} = \left(\frac{l}{dia} \right) \quad (\text{ec. 1})$$

Se calculara también el factor de centralización ya que al tratarse de un edificio de viviendas multifamiliares hay que aplicarle un factor a la demanda de ACS a 60°C, en función del número de viviendas que tenga el edificio, según el CTE

(documento DB-HE4), tabla 4.3. Este valor una vez aplicado a la demanda dará la demanda real de agua caliente sanitaria a 60°C calculada en el "Anexo II. Apartado 1."

$$D_{ACS}(60) = D_{ACS}(60) \cdot F_{centr} = \left(l/dia \right) \quad (ec. 2)$$

Una vez obtenida la demanda diaria de ACS a 60°C, esta debe ser corregida ya que la temperatura de funcionamiento establecida en la instalación va a ser 45°C para reducir las pérdidas debidas al gradiente térmico.

$$D_{(T)} = D_{(60)} \cdot \frac{60 - T_{AFM}}{T - T_{AFM}} \quad (ec. 3)$$

Donde:

$D_{(T)}$: Demanda a una determinada temperatura T (l/día), en este caso 45°C

T : Temperatura que se desea alcanzar en el ACS (°C), 45°C

$D_{(60)}$: Demanda a 60°C (l/día)

T_{AFM} : Temperatura agua de red del municipio (°C)

Esta última T_{AFM} depende de una constante, la cual puede tomar dos valores según los meses del año más calurosos y los más frescos (B), y también depende de la diferencia de cotas entre el municipio y la capital de la provincia (Δz) y de la temperatura media de agua fría de red en la capital de dicha provincia (T_{AFC}). Se obtiene un valor por cada mes del año en el "Anexo I. Apartado 2."

$$T_{AFM} = T_{AFC} - B \cdot \Delta z \quad (ec. 4)$$

Donde:

B: [0,0066 (Oct – Marz); 0,0033 (Abril – Sep)]

Δz : Diferencia de cotas entre el municipio y la capital de provincia (m)

$$\Delta z = z_{Matienzo} - z_{Santander} \text{ (Datos obtenidos de PVgis)}$$

T_{AFC} : Temperatura de agua de red, obtenida del CTE (documento DB-HE4, Tabla B.1), ilustración 28 del "Anexo II. Apartado 2.". En esta Tabla B.1 se recoge la temperatura media diaria por mes del agua de red de las capitales de provincia para el cálculo de la demanda de ACS a temperaturas que no sean 60°C, la unidad utilizada son (°C).

Una vez obtenidos todos los valores de la temperatura media de agua de red en Matienzo se puede pasar a calcular la demanda mensual de ACS corregida a 45°C.

Una vez obtenida la D.ACS (45°) se procede a obtener la demanda térmica por mes en el "Anexo II. Apartado 2." empleando la siguiente expresión:

$$Q = \frac{\left[C \left(\frac{J}{kg^{\circ}C} \right) \cdot \dot{m} \left(\frac{kg}{dia} \right) \cdot N^{\circ} dias \text{ mes} \cdot \frac{1}{3600} \left(\frac{h}{s} \right) \cdot (\Delta T) (^{\circ}C) \right]}{1000} \quad (\text{ec. 5})$$

Donde:

Q: Demanda energética $\left(\frac{kWh}{mes} \right)$

C: Es un valor constante 4184 $\left(\frac{J}{kg^{\circ}C} \right)$

\dot{m} : Valor obtenido en la demanda de ACS a 45°C $\left(\frac{kg}{dia} \right)$

ΔT : Diferencia de temperaturas entre la temperatura del agua fría de red del municipio y la de utilización del fluido (°C)

Una vez hecho esto, para saber cuáles son las exigencias del CTE en % de la demanda térmica a cubrir por la instalación de captadores térmicos solares, se necesita saber en qué zona de radiación se está y el consumo de agua que se va a tener en la instalación, que ya se conoce.

La radiación media anual en Matienzo obtenida en PVGIS como se ve en la siguiente ilustración es:

Monthly Solar Irradiation

PVGIS Estimates of long-term monthly averages

Location: 43°18'51" North, 3°35'0" West, Elevation: 174 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Optimal inclination angle is: 35 degrees
Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.8 %

Month	H_h	H_{opt}	$H(90)$	I_{opt}	T_{24h}	N_{DD}
Jan	1360	2140	2100	61	7.3	239
Feb	2040	2870	2530	54	6.3	223
Mar	3430	4250	3200	43	9.3	179
Apr	4070	4380	2660	27	11.4	137
May	4690	4620	2330	16	12.7	45
Jun	5030	4770	2210	10	15.4	4
Jul	5050	4890	2320	13	17.1	0
Aug	4520	4740	2640	24	17.3	1
Sep	3910	4670	3270	39	16.8	24
Oct	2670	3660	3090	51	15.0	89
Nov	1510	2280	2150	59	10.9	212
Dec	1270	2120	2160	64	8.2	236
Year	3300	3790	2550	35	12.3	1389

H_h : Irradiation on horizontal plane (Wh/m²/day)
 H_{opt} : Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m²/day)
 $H(90)$: Irradiation on plane at angle: 90deg. (Wh/m²/day)
 I_{opt} : Optimal inclination (deg.)

Ilustración 9. Radiación solar global media anual en el municipio (Fuente: [16]).

$$Hh = 3300 \frac{Wh}{m^2 dia} = 3,3 \frac{kWh}{m^2 dia} \quad (\text{ec. 6})$$

Con este valor de radiación ya se puede determinar la zona climática en la que se encuentra el municipio acudiendo a la tabla 4.4 del CTE (documento DB-HE4), tabla que establece distintas zonas climáticas según la radiación solar global media anual recibida expresada en $\left(\frac{kWh}{m^2}\right)$ o $\left(\frac{MJ}{m^2}\right)$, obtenida anteriormente. Para este trabajo fin de grado se ha obtenido que el municipio se encuentra en la **Zona Climática I**.

Zona climática	MJ/m ²	kWh/m ²
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$

Ilustración 10. Radiación solar global media diaria anual (Fuente: [17]).

A continuación, se acude a la Tabla 2.1 del CTE (documento DB-HE4) en la que se establecen distintas exigencias de contribución solar mínima para ACS en % en función de la demanda total de ACS del edificio en litros/día y la zona climática. Para este caso se obtiene que el requerimiento es de un 30%.

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50 – 5.000	30	30	40	50	60
5.000 – 10.000	30	40	50	60	70
>10.000	30	50	60	70	70

Ilustración 11. Contribución solar mínima anual para ACS en % (Fuente: [18]).

Una vez se tienen todos los datos de demanda térmica y ACS del edificio calculados en el "Anexo II. Apartados 1 y 2", se puede dimensionar la instalación calculando el área de captación solar necesaria. Para este cálculo se dispone de tres posibles metodologías a utilizar:

- Siguiendo lo que marca el CTE en el documento DB-HE4:

$$50 < V/A < 180 \quad (\text{ec. 7})$$

Donde:

A: Área total de superficie absolvedora de los captadores m^2

V: Volumen del acumulador solar l

Introduciendo el valor del volumen del acumulador se obtiene un valor del área mínima necesaria y otro superior, estableciendo que el área real que se necesita debe encontrarse entre estos 2 límites.

$$\text{Área mínima: } A > V/180 \quad (\text{ec. 8})$$

$$\text{Área máxima: } A < V/50 \quad (\text{ec. 9})$$

- Según la recomendación de algunos expertos en la materia basándose en su propia experiencia [19]. En este manual el autor afirma que por cada metro cuadrado de superficie de captación se consigue calentar 75 litros de agua.

$$\text{Area captación} = \frac{\text{Volumen acumulador}}{\text{Superficie de captación}} = \frac{V}{75} \quad (\text{ec. 10})$$

- Haciendo el cálculo entre la energía total consumida de ACS, introduciéndole el tanto por ciento que se puede cubrir (Contribución solar), y la energía que se es capaz de obtener anualmente del sol con los captadores. Aplicándole a esta última tanto los rendimientos del captador como la irradiación solar. Para con todo esto poder estimar el área total necesaria [4].

La aplicación del tercer método que es más preciso, método que se va a utilizar en el "Anexo II. Apartado 3." requiere en primer lugar realizar una estimación de la energía captada del sol, que se realizara con la siguiente ecuación:

$$E = c \cdot K \cdot a \cdot H \left(\frac{kWh}{m^2} \right) \quad (\text{ec. 11})$$

Donde:

- c: Parámetro que permite corregir la orientación este-oeste en valor absoluto:

$$\theta < 20^\circ \rightarrow c = 0.94 \quad (\text{ec. 12})$$

$$\theta > 20^\circ \rightarrow c = 0.94 \cdot (1.14 - 0.0085 \cdot \theta) \quad (\text{ec. 13})$$

Donde:

θ : Ángulo de orientación del captador ($^\circ$)

- K: parámetro de corrección de la radiación solar incidente sobre superficies inclinadas con orientación hacia el ecuador en comparación con una superficie totalmente horizontal. Se obtiene según la latitud de la localización, en este caso Matienzo de Ruesga cuyas coordenadas son las siguientes:

Matienzo: 43°18'51" Norte, 3°35'0" Oeste

El valor de este parámetro puede ser obtenido a partir de las tablas recogidas en el Pliego de Condiciones Técnicas (PCT) redactado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). En función de la latitud del lugar de ubicación de los captadores solares se elige la tabla en el PCT, a continuación, en función de la inclinación que se haya decidido para los captadores se obtienen los valores de K para los distintos meses del año.

Con la coordenada en grados de la latitud, 43° se coge la tabla de latitud 43° y la inclinación de 45° ya que es a la que más se aproxima al dato de inclinación recogido en la tabla del PCT y se obtiene los valores por mes para el parámetro K.

- a: Valor que hace referencia a la contaminación del ambiente, la elección de este valor está basada en la opinión de los expertos en la materia que según lo obtenido de la propia experiencia definen unos valores en función de la contaminación del aire en la zona. El municipio estará ubicado en un entorno sin contaminación al tratarse de un pueblo rural en el interior de Cantabria.

- H: Irradiación solar sobre plano horizontal (Hh) de cada mes, obtenida de PVgis, en (kWh/m^2) . "Anexo II. Apartado 3."

Los cálculos realizados hasta aquí indican la cantidad de radiación solar que llega hasta el captador solar, sin embargo, no toda esta energía es transformada en energía térmica que finalmente es empleada para la obtención de ACS. En primer lugar, hay que tener en cuenta el rendimiento térmico del captador solar, el cual se ve influenciado considerablemente por la temperatura ambiente exterior, así como por la irradiación, la cual varía a lo largo del año y por el modelo de captador.

La elección del captador solar condiciona los cálculos posteriores de área de captación necesaria para cumplir con lo establecido en el CTE. Para elegir el modelo de captador que se va a utilizar en la instalación se ha realizado una comparativa técnico-económica entre 3 modelos de captadores. Analizando tanto el rendimiento como el precio de cada uno de ellos en el "Anexo II. Apartado 4.". Finalmente basándose en este estudio entre los modelos Heatsun PSV25, Saunier Duval SRV 2.3 y Termicol T25US, se obtiene que en cuanto a relación calidad/precio el mejor de ellos es el SRV 2.3 de Saunier Duval, ver ficha en (Anexo V).

Dos de los criterios considerados en la comparativa de captadores han sido por una parte el rendimiento óptico realizando para ello un estudio del rango de temperaturas de trabajo y por otra las pérdidas. Ambos parámetros junto con temperatura ambiente, irradiancia y temperatura del fluido en el captador son los que condicionan el valor del rendimiento del captador solar [4]:

$$\eta = \eta_{op real} - m \cdot \frac{t_m - t_a}{I} \quad (\text{ec. 14})$$

Donde

η : Rendimiento real del captador solar

t_m : Tª del agua en el interior del colector (°C), en este caso 45°C

t_a : Tª ambiente y por lo tanto corresponde a valores medios mensuales (°C)

m : Pérdidas del captador solar

$\eta_{op\ real}$: Rendimiento óptico real del captador solar

I : Irradiancia $\left(\frac{W}{m^2}\right)$

$$I \left(\frac{W}{m^2}\right) = \frac{E \left(kWh/m^2\right)}{n^o \text{ horas de Sol}} \cdot 1000 \quad (\text{ec. 15})$$

El número de horas de sol por mes se obtiene buscando el número de horas solares diarias. Considerando la radiación solar recibida el día que está a mitad del mes se obtienen las horas de sol para cada mes, ya que las horas de ese día central del mes representan aproximadamente la media de luz recibida diariamente para cada mes. Este procedimiento hay que repetirlo cada mes ya que la irradiación tiene valores mensuales.

El rendimiento del captador solar, es decir, energía procedente del sol que es transformada en energía térmica a través del calentamiento del fluido también se ve afectado por la disminución progresiva con el tiempo del rendimiento óptico, ya que aspectos como falta de limpieza o uso de la instalación reducen su valor. Debido a la inclinación de 45° dada a los captadores y la localización del municipio (precipitaciones abundantes que favorecen la eliminación de polvo del captador), la pérdida de rendimiento óptico a causa del polvo y deterioro del captador se ha considerado del 10%, es decir, que el valor de rendimiento óptico considerado para el captador ha sido el 0,9 del valor recogido en la ficha técnica aportada por el suministrador de captadores.

$$\eta_{op\ real} = \eta_{op} \cdot 0,9 \quad (\text{ec. 16})$$

Donde:

η_{op} : Rendimiento óptico teórico del captador solar

Otro aspecto a considerar por su importancia en una instalación térmica solar, son las pérdidas térmicas que se producen durante el transporte del calor a través de un fluido hasta el depósito de acumulación, así como durante la acumulación. Se han considerado para este trabajo unas pérdidas durante el transporte y

acumulación del agua de 0,15, ya que se va a situar el depósito en la planta baja cerca de los captadores en una zona habilitada espaciosamente para ello.

El producto del rendimiento del captador, las pérdidas en transporte y almacenamiento y la energía que finalmente llega al captador permite obtener la energía térmica que finalmente es transferida al agua mensualmente y se expresa como $\left[\frac{kWh}{m^2mes} \right]$. La suma de las captaciones mensuales permite obtener la energía captada anualmente en $\left[\frac{kWh}{m^2año} \right]$.

Finalmente del cociente de dicha energía anual y la demanda térmica obtenida anteriormente, se obtiene el número de m^2 que va a requerir la instalación, es decir el área de captación necesaria.

$$\text{Area captacion necesaria} = \frac{E}{D_{(T)}} \quad (\text{ec. 17})$$

Los rendimientos mensuales, los valores de irradiancia, las horas de radiación solares, la energía captada del sol mensualmente y anualmente, así como el área de captación se recogen en el "Anexo II. Apartado 3."

Una vez obtenidos los metros totales de captación necesarios y el área del captador (ficha técnica del captador seleccionado), se puede determinar cuántos captadores es necesario colocar.

$$N^{\circ} \text{ de captadores} = \frac{\text{Superficie de captación (m}^2\text{)}}{\text{Área de captador (m}^2\text{)}} \quad (\text{ec. 18})$$

La colocación de los captadores se va a llevar a cabo en el tejado de la vivienda, ya que al no ser un número muy elevado de captadores caben perfectamente (Documento 3. Plano 6).

Otros datos a tener en cuenta a la hora de colocar los captadores son [20]:

- Inclinación: el tejado presenta una inclinación de unos 30° y la inclinación seleccionada para la situación geográfica es de 45° por lo que se debiera colocar un soporte para inclinar el panel hasta el ángulo deseado.

- Orientación: el tejado presenta la orientación óptima ya que al ser un tejado a 4 aguas siempre se puede colocar los paneles orientados al sur.
- Distancia mínima entre captadores: para evitar sombras entre captadores. Se debe calcular la distancia mínima de seguridad que hay que dejar entre cada uno de ellos.

$$d = \frac{h}{\tan(61 - \text{Latitud})} = \frac{\text{sen}(\text{Inclinación}) \cdot \text{Altura captador}}{\tan(61 - \text{Latitud})} \quad (\text{ec. 19})$$

Donde:

- Inclinación: es la inclinación del captador que se quiere conseguir en ($^{\circ}$)
- Altura captador: es la medida en vertical del captador expresada en su ficha técnica (m)
- Latitud: es la coordenada en de los grados en la dirección norte ($^{\circ}$)

Según lo citado anteriormente y con el modelo de captador elegido se necesitaría 2 captadores para cubrir la demanda, "Anexo II. Apartado 4."

Captadores que habrá que conectar entre sí, a través de sus orificios de entrada y salida, 2 en cada sitio. Los posibles modos de conexión son: en serie, en paralelo o mixta [4].

Conexión en serie

En este tipo de conexión se conecta el orificio de salida del captador anterior al de entrada del siguiente. En esta conexión el rendimiento disminuye un poco ya que el fluido pasa a través de todos los colectores incrementándose la temperatura de entrada del fluido en cada colector, y por tanto disminuyendo la eficiencia del sistema. Todos ellos comparten el mismo caudal.

$$\Delta T_t = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 \quad (\text{ec. 20})$$

$$Q_t = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_n \quad (\text{ec. 21})$$

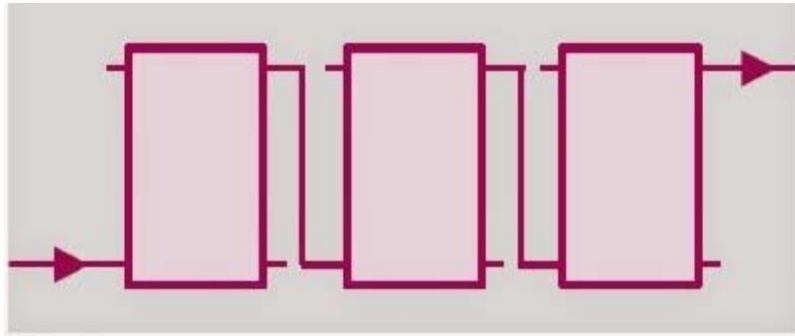


Ilustración 12. Conexión en serie de los captadores (Fuente: [21]).

Conexión en paralelo

Consiste en conectar los orificios de salida del captador con los de entrada del siguiente. En esta opción aumenta el rendimiento, pero a su vez también el coste de instalación, ya que se requiere de mayor cantidad de tubería. Con esta disposición el caudal total es la suma de los caudales de cada captador pero el incremento de temperatura es constante.

$$\Delta T_t = \Delta T_1 = \Delta T_2 = \Delta T_3 \quad (\text{ec. 22})$$

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (\text{ec. 23})$$

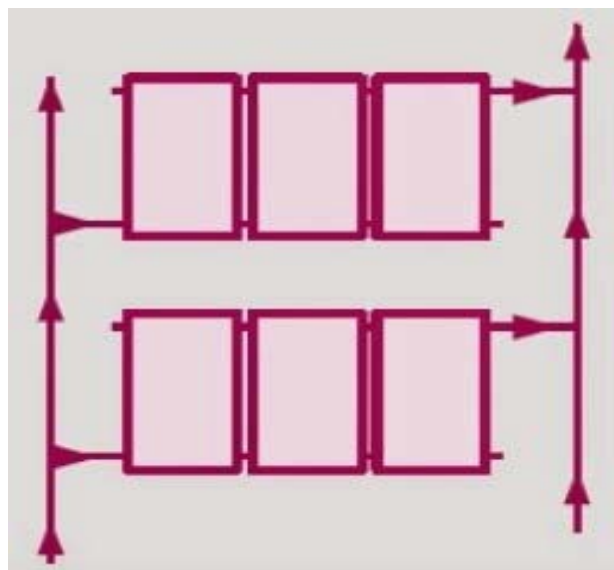


Ilustración 13. Conexión en paralelo de los captadores (Fuente: [21]).

Conexión mixta o serie-paralelo

Esta disposición está formada por la conexión en paralelo de distintas baterías compuestas cada una de ellas de varios captadores en serie.

Este tipo de conexión aporta una temperatura de trabajo más elevada y un ahorro de espacio en instalaciones que requieran de un número elevado de captadores.

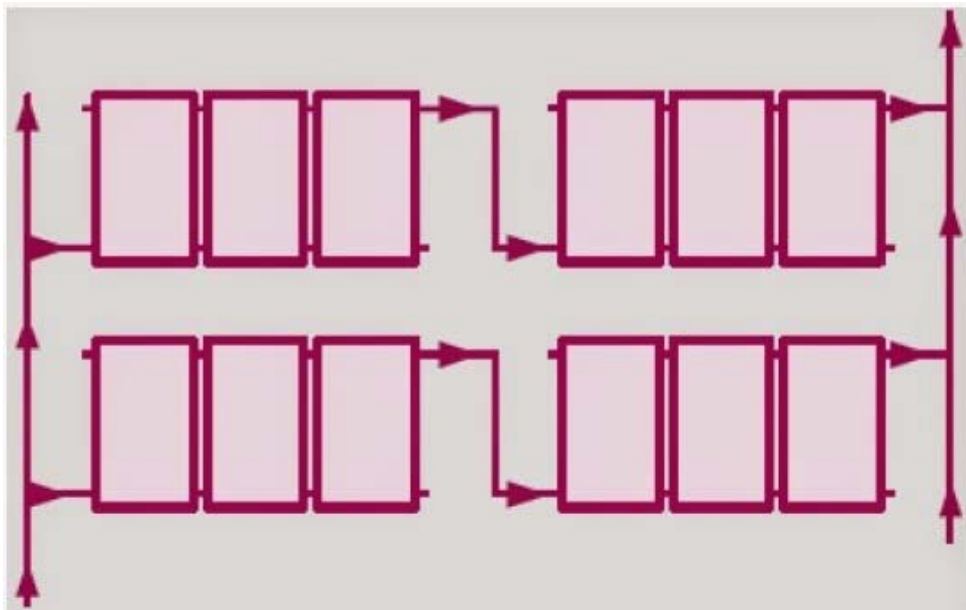


Ilustración 14. Conexión mixta (serie-paralelo) de los captadores (Fuente: [21]).

En la instalación al contar solo con la necesidad de utilizar 1 captador el conexionado de los captadores no es ninguno de los anteriores.

Pérdidas en los captadores

La disposición de los captadores en la cubierta del edificio puede generar unas pérdidas que afectarían de manera directa al rendimiento de los captadores. Estas pérdidas se dividen en pérdidas por orientación e inclinación del captador (por desviación con respecto a orientación sur e inclinación del captador con respecto al ángulo de incidencia del sol) y pérdidas por sombras provocadas por agentes externos del entorno.

Los límites establecidos para estas pérdidas vienen marcados por el Código Técnico de la Edificación (CTE) en el documento DB-HE4-2 en la tabla 2.4

representada en el "Anexo II. Apartado 6.". Esta tabla distingue entre caso general, caso de superposición cuando los captadores se encuentran paralelos a la superficie de colocación de dicho edificio o caso de integración arquitectónica cuando los módulos cumplen la función energética y a su vez la arquitectónica pudiendo ser elementos de la propia construcción arquitectónica.

Se calculara primero las pérdidas por orientación, definiendo la orientación de los captadores con el ángulo de azimuth (α), ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del captador y el meridiano del lugar, representado en la ilustración 15. Siendo valores usuales 90° para captadores cuya orientación es oeste, 90° para los orientados al este y 0° para los orientados al sur, con el que se consigue el máximo aprovechamiento energético.

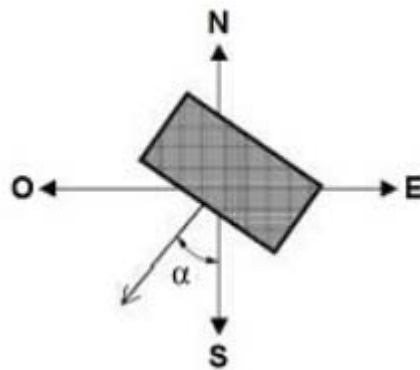


Ilustración 15. Representación del ángulo de azimuth (Fuente: [22]).

Por otro lado, se debe calcular las pérdidas por inclinación de los captadores basándose en el ángulo de inclinación (β) definido con el ángulo que forma la superficie del captador con el plano horizontal, como se representa en la ilustración 16.

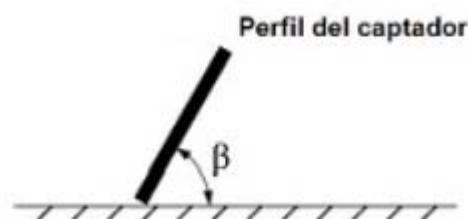


Ilustración 16. Representación del ángulo de inclinación (Fuente: [22]).

La inclinación recomendada por el CTE para una demanda anual constante que sería el caso de este trabajo fin de grado, es la de la latitud del municipio donde se encuentra el edificio.

Dado que la cubierta de la vivienda no consigue alcanzar la inclinación necesaria se deberá colocar una estructura soporte, de la que se hablara más adelante, para alcanzar la inclinación requerida.

Por lo tanto, esta situación alude al caso general de pérdidas debido a que el panel irá colocado en una estructura inclinada, por tanto no estará superpuesto sobre la propia cubierta, descartando así el caso de superposición. Tampoco forma parte de la contrucción arquitectónica ni sustituye a ningún elemento de la misma, por lo tanto se descarta también el caso de integración arquitectónica.

De acuerdo al límite impuesto por el CTE para las pérdidas por orientación e inclinación se verificará si el ángulo de inclinación del captador es aceptable. Este cálculo se ha realizado gráficamente y está recogido en el "Anexo II. Apartado 6."

Para esta verificación habría que trazar una línea recta por el ángulo de azimut correspondiente. Después se debería buscar donde estaría en la recta del ángulo de inclinación el valor para el mismo y seguir la curva hasta que corte a la recta del ángulo de azimut. Para finalizar se comprueba si la zona en la que se encuentra el punto de corte está dentro de los límites establecidos por el CTE [18].

La existencia de sombras sobre el captador es otro aspecto que provoca una disminución del aprovechamiento de la radiación solar que llega a la superficie del captador, por lo que será importante a la hora de colocar los captadores solares evitarlas o intentar que sean las mínimas posibles. Estas sombras se pueden clasificar en sombras provocadas por agentes externos cercanos a los captadores (árboles, chimeneas, edificios cercanos, etc.) y las generadas por los propios captadores al estar colocados unos cerca de otros.

En el PCT del IDAE se recoge el procedimiento para calcular este tipo de pérdidas, pero en este caso no se tiene ningún elemento cercano que sea más alto que la vivienda, ni elementos propios de la vivienda que puedan generar una sombra, como se puede comprobar en la ilustración 17.

Además, solo se va a tener un captador por lo que no se van a hacer sombra entre ellos en su disposición, por lo tanto, las pérdidas debido a sombras serán nulas en este caso.

En el caso de que las hubiera y se quisiese realizar el cálculo se seguiría lo indicado en el PCT del IDAE apartado "Cálculo de pérdidas de radiación por sombras".



Ilustración 17. Elementos cercanos a la vivienda (Fuente: [9]).

Cálculo de la estructura soporte

A la hora de posicionar el captador solar sobre la cubierta del edificio se va a necesitar una estructura soporte como se ha indicado anteriormente para conseguir la inclinación necesaria de 43° .

Por lo tanto, se acude al catálogo del mismo fabricante del captador y se elige la estructura soporte escogiendo una estructura soporte para captador vertical en tejado inclinado de teja plana y 1 captador, fabricada en aluminio cuya referencia es 0020153501.



Ilustración 18. Estructura soporte tipo (Fuente: [23]).

Al colocar la estructura se debe tener en cuenta que habrá que fabricar unas zapatas de hormigón que sirvan de contrapeso a la estructura con el captador ya montado, debido a que un fuerte viento en la parte trasera del captador y la estructura podría provocar que esta saliese volando. Debido a esto se van a fabricar dichas zapatas para contrarrestar la fuerza del viento y evitar así futuras tragedias. El dimensionado de las zapatas está detallado en el "Anexo II Apartado 7." [18].

Para calcular las zapatas se necesita la velocidad del viento, superficie del captador, inclinación del mismo, así como la densidad del hormigón.

El primer caso sería averiguar cuál es la fuerza que ejerce el viento sobre los captadores con la siguiente ecuación:

$$f = p \cdot S \cdot \sen \beta \quad (\text{ec. 24})$$

Donde:

f: fuerza ejercida por el viento en (kp); $1\text{kp} = 9,81\text{ N}$

p: presión frontal del viento, es decir, presión que ejercería el viento a una superficie perpendicular a él. Esta es dependiente de la velocidad, pudiendo establecer una relación de 1 kN/m^2 , para una velocidad de 150 km/h (kN/m^2).

S: superficie total de captación en (m^2)

β : ángulo de inclinación de los captadores ($^\circ$)

Al encontrarse en el hemisferio norte, cuya orientación predominante de los captadores va a ser hacia el sur para un mejor aprovechamiento solar, la componente más desfavorable del viento para los captadores va a ser la componente norte del viento.

Como velocidad del viento en el municipio se va a tomar la velocidad de referencia de 29 m/s o 104,4 km/h que establece el CTE en el documento DB-SE-AE, para determinar el cumplimiento de los requisitos de seguridad estructural.

Una vez obtenida esta fuerza se procede a calcular el volumen necesario para la zapata de hormigón del captador con la siguiente ecuación:

$$V_z = \frac{f}{d} \quad (\text{ec. 25})$$

Dónde:

V_z : Volumen de la zapata (m^3)

d : Densidad del hormigón ($2200 \text{ kg}/m^3$)

f : Fuerza del viento ejercida sobre el captador (kg)

8.1.3 Sistema de acumulación

Para la instalación dimensionada en este trabajo se va a contar con un acumulador común a las 2 viviendas por ser una instalación con todo centralizado, por lo tanto, estará situado en el cuarto de calderas junto a los demás elementos de la instalación. Su dimensionado se moverá entre unos ciertos límites los cuales los marca el CTE en el documento DB-HE4.2, ya que un volumen excesivamente grande reduce la productividad del sistema y uno muy pequeño no permite la transferencia de calor para que el colector llegue a alcanzar su rendimiento óptimo en las horas de sol. La norma marca como ya se indicó anteriormente unos límites según las ecuaciones 8 y 9, que tras realizar el cálculo una vez obtenida el área

de captación de 1,83 m², da un volumen mínimo de acumulador de 116 litros y uno máximo de 418 litros.

El funcionamiento del acumulador o tanque se caracteriza porque por un lado el agua fría de la parte inferior del tanque se envía al intercambiador para elevar su temperatura, por tanto, las tuberías de entrada del agua fría se colocan en la parte inferior. Sin embargo, el agua de la parte superior del tanque que ya está caliente se traslada a los diferentes puntos de consumo, siendo esta cantidad sustituida por la misma de agua fría proveniente de la red.

Además, debido a la posición vertical en la que se coloca el acumulador, la estratificación de temperaturas es mucho más favorable por lo que no es necesario mantener todo el depósito a la temperatura requerida, y obteniendo una efectividad mayor en los captadores solares.

La mayor ventaja de instalar un sistema de acumulación es la disponibilidad en el tiempo que introduce, permitiendo adaptar la disponibilidad de los recursos solares a la demanda que se necesita en cada momento.

A la hora de la selección del modelo que se va a colocar influyen los siguientes elementos [20]:

- **Superficie de captación:** como se ha explicado anteriormente el CTE marca que el volumen del acumulador debe encontrarse entre dos límites, en función de la superficie de captación del acumulador. Obteniendo según esta un volumen mínimo de acumulador de 116 litros y uno máximo de 418 l entre los cuales se deberá encontrar el volumen del acumulador.
- **Demanda de ACS:** este es otro factor a tener en cuenta, ya que si la relación entre captación y demanda es muy elevada, mayor debe de ser el volumen del depósito para que este sea capaz de suplir las necesidades. Este consumo está calculado en el "Anexo II. Apartado 1.", obteniendo una demanda diaria de ACS a 60°C de 168 litros, por lo que el volumen del depósito deberá ser moderadamente superior.
- **Temperatura de acumulación:** la Tª a la que se va a almacenar el agua en el interior del depósito también va a influir directamente en el volumen de este, debido a que si se quiere una Tª elevada el volumen del depósito deberá ser menor ya que al querer calentar más el agua la cantidad debe de ser menor por tanto el volumen de acumulación será más reducido.

Teniendo en cuenta estos 3 factores se acudirá al catálogo y se seleccionara el modelo de acumulador inmediatamente superior a la demanda de 168 l, escogiendo el modelo ATK 200 D, un acumulador vitrificado directo de 200 litros de capacidad aislado exteriormente con poliuretano rígido y poli piel del fabricante TERMICOL. Cuya referencia en el catálogo es 602K0200.

La desventaja o problema principal de los acumuladores solares es que son altamente sensibles a la corrosión, por lo que hay que tratarlos con alguna medida anticorrosiva, en este caso se va a utilizar el tratamiento de ánodos de protección catódica de sacrificio. Este proceso consiste en utilizar el magnesio para proteger al material base del acumulador.

El principio en el que se basa este tratamiento es la utilización de magnesio como fuente de electrones que son captados por el oxígeno llevándose el todo el proceso de corrosión hasta llegar a su total destrucción y desaparición.

Este tratamiento es sencillo de instalar y da una garantía de protección contra la corrosión bastante elevada, siendo un sistema bastante económico, lo que hace que sea uno de los procesos de prevención más utilizados. Pero por el contrario el ánodo de magnesio necesita una vigilancia periódica ya que al irse deteriorando hasta finalmente desaparecer es necesaria su sustitución [24].



Ilustración 19. Ánodo de sacrificio de magnesio utilizado en el tratamiento anticorrosión (Fuente: [25]).

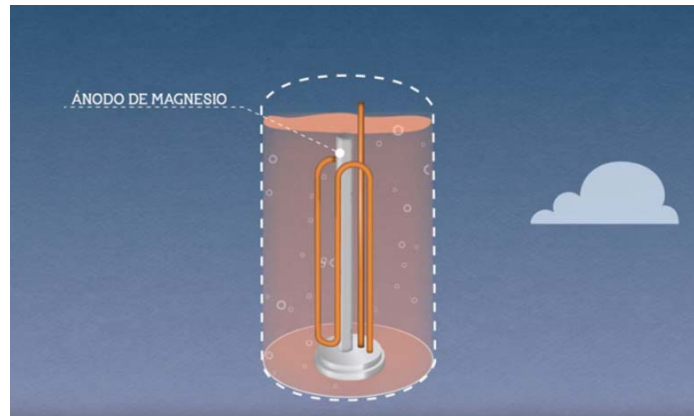


Ilustración 20. Acumulador con tratamiento anticorrosión por ánodos de sacrificio (Fuente: [26]).

8.1.4 Sistema de intercambio

Está formado por elementos que se encargan de transferir la energía térmica obtenida de los captadores hasta el acumulador. Estos elementos son el intercambiador principalmente y luego todo el sistema de tuberías, válvulas, etc. Que conforman el entramado de la transferencia de calor.

Los intercambiadores de calor se utilizan en instalaciones solares en las que se quiere separar el circuito en dos partes, dividiéndolo en circuito primario y circuito secundario. Debido a que con esto se consigue aislar un circuito de otro y se evita que el agua de consumo que circula por el circuito secundario sufra congelamiento debido a las heladas, circulando por el circuito primario el fluido un fluido caloportador anticongelante.

El intercambiador que se va a utilizar en la instalación es un intercambiador de placas, el cual consiste en una serie de chapas de metal apiladas que se mantienen unidas por medio de un bastidor y selladas con una junta, quedando entre ellas unas ranuras a través de las cuales se impulsa mediante una bomba el fluido [27].

Este tipo de intercambiadores es altamente eficiente lo que permite poder dar una gran potencia en el intercambio con tamaño muy reducido, lo que hace que sea muy usado en instalaciones de baja temperatura.

Para determinar la potencia del intercambiador primario se debe tener en cuenta las exigencias del PCT, en el que se establece que la potencia mínima que deberá tener el intercambiador será:

$$P(W) = 500 \cdot A \quad (\text{ec. 26})$$

Donde:

P: Potencia mínima que debe tener el intercambiador (W)

A: Área mínima de captación (m^2)

Aplicando esta expresión para la determinación de la potencia mínima, calculada en el "Anexo II, Apartado 8.", se selecciona tras la visualización de varios catálogos un modelo que se ajusta a la demanda, siendo siempre la potencia de este superior a la misma. El modelo seleccionado ha sido el CBH16-13H del fabricante "Alfa Laval", intercambiador de placas termosoldadas de 10 kW de potencia, un total de 13 placas y un caudal de 9000 l/h.

El fluido caloportador empleado en el circuito será Glicol basado en una mezcla de agua y anticongelante (propilenglicol), fluido que cumple con creces con todas las especificaciones del CTE. Es específico para la utilización en instalaciones de energía solar por las distintas razones [27]:

- Su toxicidad es nula.
- Protege a las aleaciones metálicas (aluminio, acero, cobre, hierro, latón) de la corrosión.
- No sufre congelación, por lo que previene al circuito de daños ocasionados por este fenómeno.
- Tiene un color azul por lo que es fácil detectarlo en caso de fuga del circuito.
- Eleva el punto de ebullición hasta los 150°C.

Propiedades del propilenglicol	
Aspecto	Líquido transparente azul
pH a 20 °C	8,5 – 9,0
Punto de ebullición en circuito	125°C
Temperatura de congelación	-31°C
Temperatura de protección	-37°C
Densidad a 20°C	1,042 – 1,044 g/ml
Viscosidad a 20°C	5,51 mPa s
Capacidad calorífica a 20°C	3,66 KJ/KgK
Coefficiente de expansión térmica	0,00055 1/K

Tabla 2. Propiedades del fluido caloportador (propilenglicol) (Fuente: elaboración propia).

La concentración en peso del fluido en función de la temperatura de congelación correspondiente y la viscosidad de este fluido están calculadas en el "Anexo II. Apartado 9."

Para ello se debe conocer en primer lugar la temperatura mínima histórica del municipio, expresada en el Apartado 9.1.1 de esta memoria la cual es la misma que la temperatura de congelación a la cual se le añade un margen de seguridad de -5°C y con esto se procede a obtener gráficamente la concentración de porcentaje en peso correspondiente.

Una vez hecho esto se deberá calcular la viscosidad del fluido, debido a que la concentración de glicol y la temperatura de trabajo afectan a la viscosidad de la mezcla agua-glicol. Esto se calcula gráficamente.

Esta viscosidad obtenida será mayor que la del agua debido a la concentración de glicol en la mezcla y por tanto las pérdidas de carga en las tuberías del circuito primario también se verán aumentadas, por lo que hay que aplicar un factor corrector, obtenido de la siguiente fórmula:

$$k = \sqrt[4]{\frac{v_{mezcla}}{v_{agua(60^{\circ}\text{C})}}} \quad (\text{ec.27})$$

Donde:

v_{mezcla} : Viscosidad de la mezcla (cP)

$v_{agua(60^{\circ}\text{C})}$: Viscosidad del agua a 60°C (cP)

8.1.5 Sistema hidráulico

Recibe el nombre de sistema hidráulico el circuito a través del cual va a circular el fluido, tanto el fluido caloportador como el ACS. A su vez este circuito se dividirá en 3 subcircuitos hidráulicos: el circuito primario formado por los captadores y el intercambiador de calor cuya finalidad es absorber la energía del sol y transportarla hasta el depósito de acumulación, el circuito secundario cuya finalidad es transportar la energía desde el circuito primario hasta el sistema de energía auxiliar, y el circuito de las subestaciones o puntos de consumo de ACS, encargado de transportar el ACS hasta los puntos de consumo en el interior de la vivienda. A continuación, se va a proceder al dimensionado de cada uno de estos circuitos.

Lo primero será calcular el diámetro de las tuberías de cada uno de los circuitos anteriormente citados para lo que se puede utilizar 2 métodos:

- Basándose en ábacos para llegar a la solución.
- Utilizando la siguiente ecuación.

$$D = j \cdot C^{0.35} \quad (\text{ec. 28})$$

Donde:

D: diámetro (cm)

C: caudal en $\frac{m^3}{h}$

j: 2,2 para tuberías metálicas y 2,4 para tuberías plásticas

Una vez hecho esto hay que comprobar que el diámetro cumple con el PCT del IDAE, apartado VII.6 del anexo VII, en donde dice que:

- Las pérdidas de carga por unidad deben ser inferiores a 40mm de columna de agua por metro lineal de tubería.
- La velocidad de circulación del fluido a través de la tubería no debe sobrepasar los 2 m/s en lugares habitados y los 3 m/s en lugares no habitados. Por tanto, la velocidad máxima de proyección del fluido no

deberá ser mayor de 1,5 m/s, aunque por experiencia se recomienda que no exceda de 1 m/s.

En este proyecto al tener varios circuitos que circulan a través de diferentes estancias, tanto habitadas como no habitadas, cada uno de ellos tendrá un diámetro distinto y un caudal distinto.

Para calcular la velocidad a través de la tubería, una se vez tiene el diámetro y el caudal se aplicara la siguiente fórmula:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = 0.354 \cdot \frac{Q}{D^2} \quad (\text{ec. 29})$$

Donde:

V: Velocidad del fluido (m/s)

D: Diámetro interior de la tubería (m)

Q: Caudal ($\frac{m^3}{s}$)

Otro factor importante a calcular a la hora del dimensionado de tuberías serán las pérdidas de carga o de rozamiento, las cuales dependen del material de la tubería, de la geometría, del diámetro de esta y del fluido que circula por ella.

Este tipo de pérdidas se definen como la perdida de energía dinámica del fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre si y contra las paredes de la tubería que las contiene.

Se distingue entre pérdidas de carga lineales y pérdidas de carga singulares. Siendo las primeras las que se producen en las tuberías debido al rozamiento con las paredes de esta o a las propias partículas del fluido entre sí. Las pérdidas de carga singulares que son las que se producen en los equipos y accesorios externos a la propia tubería, como por ejemplo codos, válvulas, captadores, etc.

Para el cálculo de estas pérdidas se van a utilizar distintas tablas, ábacos y fórmulas empíricas destacando la fórmula de Flamant, ecuación 30 de esta memoria:

$$Pdc\ unitaria = F * \frac{v^{1,75}}{D^{1,25}} \quad (ec.30)$$

Donde:

Pdc unitaria: Pérdidas de carga unitaria en relación al largo de la tubería
(m. c. a./m)

F: Constante del material de la tubería, 0,0007 para acero y 0,00057 para cobre

v: Velocidad de circulación del flujo (m/s)

D: Diámetro interior de la tubería (m)

L: Longitud del tramo recto de la tubería (m)

O expresando la velocidad en función del caudal, donde la ecuación quedaría de la siguiente manera:

$$Pdc\ unitaria = 378 * \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad (ec.31)$$

Donde:

Pdc unitaria: Pérdidas de carga unitaria por metro lineal de tubería
(m. c. a./m)

Q: Caudal que circula a través de la tubería (l/h)

D: Diámetro interior de la tubería en (mm)

A las pérdidas calculadas con estas ecuaciones se debe aplicarle la constante de corrección para la viscosidad del fluido al trabajar con glicol. Calculada en el "Anexo II. Apartado 9."

A su vez también se deberá dimensionar el volumen del vaso de expansión tanto del circuito primario como secundario según la norma UNE 100155:2004 [28], marcada por el RITE. Para ello se utilizará la ecuación 32:

$$V_{vaso} = V * C_e * C_p = V * \varepsilon * \frac{P_M}{P_M - P_m} \quad (ec.32)$$

Donde:

V_{vaso} : Volumen del vaso de expansión (l)

V : Volumen del fluido caloportador (l)

C_e : Coeficiente de expansión, incremento del fluido caloportador desde 40°C a la temperatura máxima alcanzada por los colectores

C_p : Coeficiente de presión

P_M : Presión máxima del vaso de expansión (bar)

P_m : Presión mínima del vaso de expansión (bar)

Se calculará el volumen total calculando los volúmenes parciales de cada elemento del circuito.

Circuito primario

Es un circuito cerrado a través del cual circula el fluido desde los captadores hasta el intercambiador, circulando siempre por zonas no habitadas. En la vivienda se dispone de un único captador como se ha indicado anteriormente, por lo que en este circuito existirá un único tipo de tubería al ser el caudal constante en todo él, calculado en el "Anexo II. Apartado 10."

En cuanto a las tuberías, es importante la colocación de aislamiento para reducir las pérdidas por calor y mantener la temperatura del fluido en el interior de la tubería lo máximo posible. Es necesario además tener en cuenta que las tuberías suelen alcanzar unas temperaturas muy elevadas, por lo que es necesario colocar un aislante que sea capaz de soportarlas. Por otro lado en estas condiciones lo que realmente interesa es disipar calor por lo que el aislante no sería necesario, y teniendo en cuenta que los captadores van a trabajar en las horas de sol con las temperaturas exteriores más altas se puede admitir que el espesor del aislamiento sea más pequeño, por lo tanto en función de esta temperatura se obtiene según el apartado VII.9 del Anexo VII del PCT que para tuberías por el exterior el espesor de aislamiento mínimo debe ser de 35 mm y para tuberías que circulen por el interior de 25 mm calculado en el "Anexo II Apartado 11."

Se utilizará como aislante tubos de espuma elastómera de la marca Armaflex.

Otro elemento a considerar es la bomba de circulación cuya finalidad es empujar el fluido a través de la tubería venciendo el rozamiento que esta opone. Es importante su colocación en las zonas más frías del circuito según lo que indica el CTE.

Los 2 valores a tener en cuenta al elegir el modelo de la bomba son la pérdida de carga que debe vencer dicha bomba H , y el caudal que debe impulsar Q calculados en el "Anexo II. Apartado 12". Teniendo en cuenta estos 2 datos se va a la ficha técnica del fabricante para cada modelo de bombas y se selecciona la más adecuada, debiendo estar la característica de esta por encima del punto de funcionamiento de diseño. Finalmente, se ha elegido el modelo HEP Optimo Basic 20-6.0 G130 del fabricante HALM.

El vaso de expansión es un elemento de seguridad que sirve para absorber el incremento de volumen del fluido asociado al incremento de temperatura al calentarse este mismo durante el proceso de trabajo. Consiste en un depósito dividido internamente en 2 mitades por una membrana, una de las mitades está dentro del circuito interaccionando con el fluido y en la otra hay un gas inerte, que es el que absorbe el aumento de volumen comprimiéndose. Este elemento debe colocarse en la aspiración de la bomba ya que es donde menos va a estar expuesto al estrés térmico al ser la zona más fría del circuito. Para la instalación de este proyecto se ha calculado el volumen de vaso de expansión en el "Anexo II. Apartado 13.", a partir de este volumen se ha elegido el modelo 2 SMF del fabricante Ibaiondo.

En el caso del circuito primario se debe calcular las pérdidas de carga lineales en las tuberías, así como las singulares en los accesorios, captador, e intercambiador de calor ("Anexo II. Apartado 12").

Circuito secundario

Análogamente a lo calculado para el circuito primario, en el circuito secundario también se va a calcular el diámetro de las tuberías de cobre para este circuito, tuberías que contienen el mismo caudal y por tanto tienen todas ellas un mismo diámetro calculado en el "Anexo II. Apartado 14".

La realización del cálculo del espesor del aislamiento de las tuberías se encuentra en el "Anexo II. Apartado 15" el cual se obtuvo de la misma manera que en el circuito primario. Para este diámetro de tubería concreto se obtuvo un diámetro de aislamiento de 25mm. Escogiéndose también como aislamiento los tubos de espuma aislante de la marca Armaflex.

Una vez calculadas las pérdidas de carga del circuito secundario divididas en pérdidas de carga lineales en las tuberías, y las singulares. "Anexo II. Apartado 16" se procede a elegir la bomba más adecuada a la demanda de esta aplicación siguiendo el mismo criterio que el utilizado para la elección de la bomba del primario, escogiendo el modelo HEP Optimo Basic 15-6.0 G130 del fabricante HALM.

Al igual que en el sistema hidráulico primario, se debe colocar un vaso de expansión para absorber el aumento de volumen del fluido secundario, el cual viene dado en función del volumen del circuito secundario, el acumulador y el interacumulador del sistema de apoyo.

Con los volúmenes del acumulador solar (Memoria. Apartado 8.1.3) y el interacumulador (Anexo III. Apartado 4.1) se calcula el volumen mínimo que debiera tener el vaso de expansión realizado en el "ANEXO II. Apartado 17", seleccionando según el resultado obtenido el modelo 24 SMF, de 24 litros, del fabricante Ibaiondo.

Circuito de distribución

En la vivienda objeto de este proyecto se cuenta ya con el circuito de distribución debido a que se va a adaptar la nueva instalación a la ya existente aprovechando al máximo los recursos de los que ya se dispone como es el circuito de distribución (tuberías, radiadores, etc.).

El fluido caloportador que circulará a través de este circuito será agua, procedente del circuito secundario, al ser adyacente a él.

Las características técnicas del fluido (agua) son:

- Densidad 1 g/cm^3
- Calor específico $1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ o $4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$

- Viscosidad 0,4 cP

Se podría calcular el caudal instantáneo mínimo para ACS según las exigencias del CTE documento DB-HS4:

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm ³ /s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm ³ /s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinaros con grifo temporizado	0,15	-
Urinaros con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

Ilustración 21. Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato (Fuente: [18]).

Sistema de llenado

Siguiendo las exigencias del CTE y del RITE se deberá colocar un sistema de llenado en el circuito, al poder ser en la zona más elevada del circuito entre el intercambiador y los captadores. Este sistema puede ser bien manual utilizando una válvula de esfera o bien automático con un depósito en el que esté el fluido de trabajo y este sea aportado automáticamente al circuito según sea necesario.

En el caso de los circuitos que cuenten con un vaso de expansión abierto se podrá utilizar el propio vaso como sistema de llenado. Los de vaso cerrado deberán incorporar un sistema de llenado automatizado como se ha explicado en el párrafo anterior.

Este tipo de sistemas se encuentran con el problema de la complicada detección de fugas ya que siempre van llenando el circuito a medida que descende el nivel de fluido complicando la labor de percatarse de una fuga si la hubiera. Sin

embargo, a pesar de esta desventaja se está utilizando cada vez más ya que facilita la comodidad del usuario.

Cabe destacar como exige el CTE en el documento DB-HE4 que, en cualquier caso, nunca se podrá llenar el circuito con agua de red si sus características pueden dar lugar a incrustaciones o ataques al circuito, o si necesita anticongelante bien sea por riesgo de heladas o cualquier otro aditivo para su correcto funcionamiento.

Por otro lado, se deben situar condiciones de drenaje en los puntos más bajos del sistema para facilitar el vaciado del circuito en caso de que fuera necesario bien sea por averías, cambio de fluido, etc. [18, 29].

8.1.6 Sistema de disipación térmica

Siguiendo las exigencias del CTE y las indicaciones del PCT del IDAE se debería colocar en la instalación algún sistema para evitar sobrecalentamientos en el captador debidos a un exceso de irradiación o un defecto en la demanda, interrumpiendo su aporte de calor.

Los diferentes tipos de medidas que se podrían tomar para evitar estos sobrecalentamientos son los siguientes:

- Desviar el exceso de calor utilizándolo en otras instalaciones independientes del sistema como por ejemplo calentar una piscina cubierta.
- Tapar parcial o totalmente los captadores durante un determinado tiempo.
- Vaciar parcialmente el circuito.
- Integrar un disipador térmico en el circuito primario solar, medida más utilizada.

Sin embargo, en esta instalación no será necesario aplicar esta medida al disponer solo de un captador y encontrarse en un pueblo de la Cantabria oriental donde la irradiación no será muy elevada ni siquiera en verano debido a que la vivienda se encuentra en la zona I [18, 30].

8.1.7 Sistema de regulación y control

Será el encargado de conseguir el rendimiento óptimo de la instalación, automatizando esta misma, es decir activando las bombas y demás elementos cuando sea necesario y desactivándolos en la situación inversa, para evitar así llegar a condiciones extremas que puedan producir averías en el sistema. Dentro de este sistema se incluyen las válvulas, purgadores, dilatadores, sensores, actuadores y reguladores.

El sistema de regulación está formado principalmente por válvulas, aunque también cuenta con un sistema de purgación y dilatadores.

Las válvulas son un dispositivo cuya función es la de controlar o regular el caudal a través de la tubería. La apertura o cierre puede ser manual o encontrarse automatizada eléctrica o neumáticamente.

También se debe tener en cuenta al colocarlas que en las válvulas se producen pérdidas de carga, siendo máximas cuando están cerradas y mínimas si permanecen abiertas [31].

Los distintos tipos de válvulas en el sistema son [12]:

- Válvula de cierre: encargada de aislar cada parte del circuito que lo requiera para su posterior mantenimiento o reparación en caso de avería. Se instalará una para el aislamiento de cada elemento que requiera de un posible mantenimiento o sustitución.
- Válvula de seguridad: es la encargada de controlar la presión del circuito primario, impidiendo que llegue a alcanzar valores de presión peligrosos tanto para el circuito como para los componentes que lo forman. El RITE obliga a la colocación de una como mínimo. Por lo tanto, se colocará una a la salida de los captadores, se ha seleccionado el modelo KM 1/2" x 1/2" H-H del fabricante DUCO cuya referencia en el catálogo es 1005-0-36.
- Válvula anti-retorno: tiene como finalidad la prevención de que se den flujos inversos en el circuito, por lo tanto, se instalan a la salida de las bombas en la dirección del sentido del flujo y también en las canalizaciones de llenado en los circuitos cerrados. La colocación de este tipo de válvula está entre los requisitos recogidos en el PCT.

- Válvula multiuso: según las exigencias recogidas en el RITE, todos los circuitos deben poder llenarse y vaciarse. Por lo que se deben instalar dos válvulas una para cada función. Estas válvulas se colocarán en la parte baja del circuito.
- Válvula de tres vías: cuya función es la de poder dirigir el fluido hacia donde más convenga, además de poder mezclar o dividir fluidos provenientes de dos zonas distintas y por tanto a diferentes temperaturas. Según lo dicho anteriormente este tipo de válvulas se colocará en todas las uniones de 3 tuberías.
- Sistema de purga de aire: cuya función es la de eliminar el aire que pueda quedar acumulado dentro del circuito. Según las indicaciones recogidas en el PCT, se deberán colocar en los puntos altos del circuito, a la salida de los captadores purgadores, los cuales se componen de un botellín de desaireación y un purgador manual.
- Dilatadores: tienen la función de absorber los movimientos producidos en la tubería debido a la dilatación o contracción de esta provocado por el gradiente de temperatura en la misma.

Por otro lado, el sistema de control tiene como función principal la de distribuir el funcionamiento de la instalación entre la instalación solar térmica y el sistema auxiliar de biomasa aprovechando al máximo posible el recurso solar de la instalación.

El control sobre las bombas de la instalación será diferencial, se pondrán en funcionamiento o parada según la diferencia de temperatura en los distintos puntos del circuito.

Este sistema de control está formado por [18]:

- Sensores: tienen la finalidad de medir la temperatura en cada punto de la instalación. En esta instalación se utilizara los sensores del tipo RTD (Resistance Temperature Detector), que miden la variación de la resistencia en función de la temperatura, siendo los más comunes los PT100 fabricados en platino y con una resistencia a 0°C de 100 Ω [32]. Se eligen los sensores modelo TR10-A de la marca Wika.
- Regulador: dispositivo electrónico que recibe la señal de los pertinentes sensores instalados a lo largo del sistema y según esta información se

encarga de controlar los distintos componentes del sistema. se elegirá el regulador digital de modelo PCE-BTC83 del fabricante PCE Iberica.

- Actuadores: son los encargados de ejecutar las órdenes que genera el regulador sobre los demás elementos, como por ejemplo actuar sobre las bombas poniéndolas en funcionamiento o deteniéndolas según las necesidades requeridas. En este caso se utilizaran relés del modelo LMR1H-12D del fabricante Rayex Elec. cumpliendo la función de actuadores

La colocación de los sensores de temperatura se ha realizado de la siguiente manera:

- En el captador solar se ha colocado en la parte superior del captador, a la salida, donde la temperatura del circuito primario es máxima, a su vez se ha colocado otra sonda de temperatura en el punto de entrada al captador.
- En el acumulador y acumulador de apoyo, en ambos el sensor se colocará en la zona inferior del tanque.
- Además, se deberán colocar también sondas en los accesorios y elementos de la instalación, como bombas y válvulas para evitar que estos alcancen las temperaturas máximas que son capaces de soportar. Además, este sistema detectará a su vez el descenso de temperaturas muy elevado evitando que se lleguen a alcanzar temperaturas próximas al punto de congelación del fluido.

Estas sondas deben ser de inmersión e introducirse en las tuberías siempre a contracorriente del fluido y en una zona donde se creen turbulencias para así garantizar su correcta medida.

A la hora de explicar el funcionamiento del sistema se va a numerar en primer lugar las entradas y salidas del regulador según el lugar de la señal que reciba (entradas) o emita (salidas), Tabla 3.

Entradas		Salidas	
1	Temperatura entrada captadores	1	Bomba circuito primario
2	Temperatura salida captadores	2	Bomba circuito secundario
3	Temperatura deposito acumulación	3	Válvula 1
4	Temperatura deposito apoyo	4	Válvula 2

Tabla 3. Señales de entrada y salida del regulador (Fuente: Elaboración propia).

El funcionamiento de la presente instalación se basará en la temperatura a la que se encuentre el agua en el interior del depósito de acumulación y el de apoyo o interacumulación, es decir, durante la noche y a primera hora del día el sistema solar estará inactivo, por tanto, el depósito de acumulación solar tendrá una temperatura baja, funcionando únicamente la caldera de biomasa. Caldera que se encenderá para calentar el agua del depósito de apoyo solamente cuando descienda de 50°C para elevarla hasta los 60°C establecidos.

Una vez los captadores consigan elevar la temperatura hasta que el salto térmico entre la entrada a los captadores y la salida de los mismos sea menor de 7°C, momento en el que se activaran las bombas de recirculación y por tanto se iniciará el intercambio de calor entre el circuito primario y secundario calentando el agua del depósito de acumulación solar.

En el momento en el que la temperatura en el depósito de acumulación sea 2 grados superior a la de la salida de los captadores las bombas se detendrán.

Sin embargo, no será hasta que el depósito solar alcance 40°C cuando esta agua se vierta al depósito de acumulación, intercambiando la configuración de las válvulas, abriendo la 1 y cerrando la 2 [33, 15].

8.2 INSTALACIÓN DE ENERGÍA AUXILIAR

8.2.1 Envoltente térmica de la vivienda

La envoltente térmica de un edificio se compone por un lado por todos aquellos cerramientos que separen los espacios habitables del exterior, terreno u otro edificio. Y por otro lado por las particiones interiores que delimiten espacios habitables con no habitables en contacto con el exterior.

Su función es la de aislante térmico, protegiendo al edificio de las inclemencias climatológicas mejorando la calidad de vida de los habitantes en el edificio. Además, gracias a su capacidad aislante reduce el consumo de energía [34, 35].

Los elementos que componen la envoltente térmica del edificio se clasifican en 3 categorías principalmente:

- Cubiertas: cerramientos superiores en contacto con el aire con una inclinación inferior a 60° .
- Suelos: cerramientos inferiores horizontales o levemente inclinados que están en contacto con el aire, el terreno o un espacio no habitable.
- Fachadas: cerramientos exteriores en contacto con el aire con una inclinación superior a 60° . Estas se clasifican en 6 categorías en función de su orientación como se aprecia en la ilustración 22.

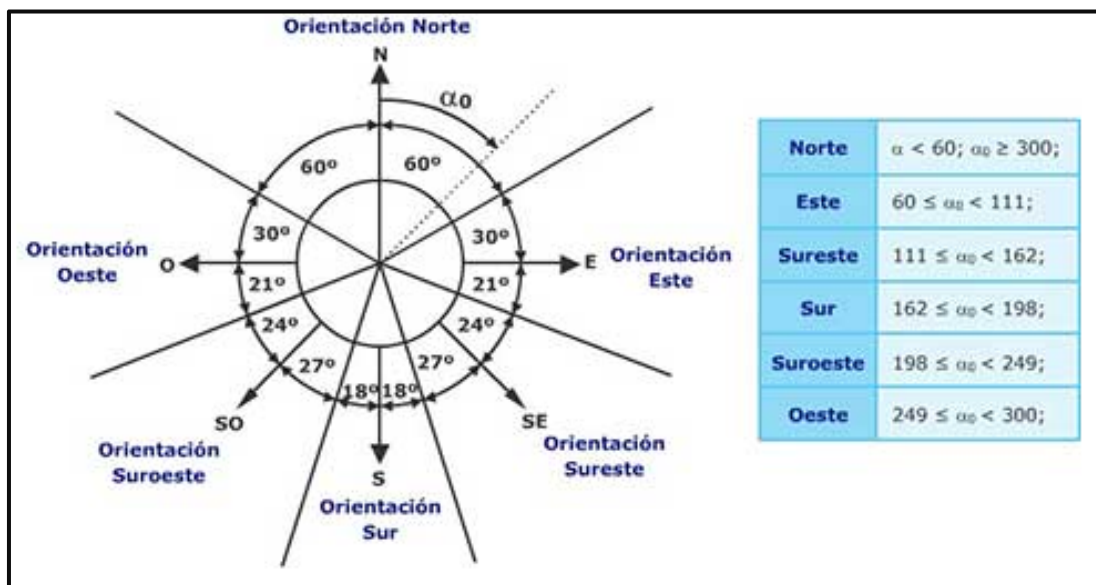


Ilustración 22. Orientación de las fachadas (Fuente [34]).

Según esto y como se puede ver en la siguiente ilustración 23 las fachadas tienen la siguiente orientación. Esta orientación se tendrá en cuenta en la realización de los cálculos.

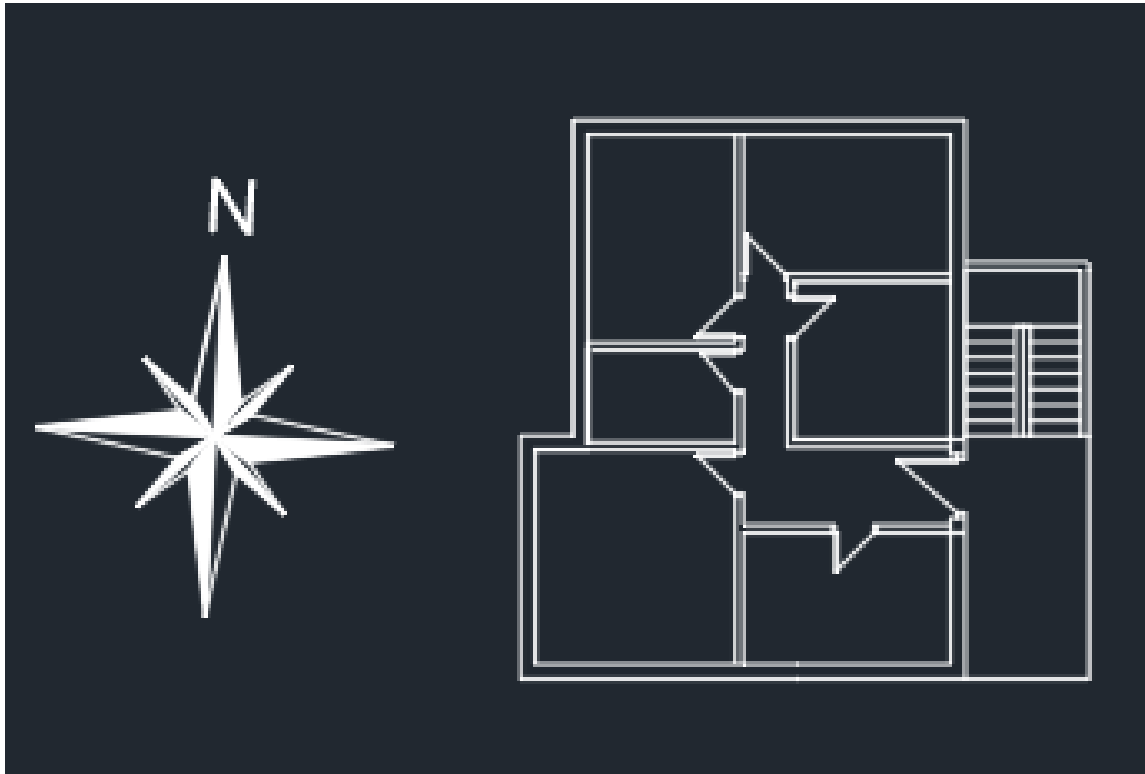


Ilustración 23. Orientación de las fachadas (Elaboración propia).

8.2.2 Coeficientes globales de transferencia de calor

Se va a proceder al cálculo de los coeficientes de transferencia de calor a través de cada elemento estructural de la vivienda basándose en lo que dicta el CTE. Se van a calcular estos coeficientes para los muros de carga, la cubierta, las ventanas, los suelos, las particiones interiores y los puentes térmicos.

Para realizar el cálculo de todos ellos se deberá conocer la conductividad de cada uno de los materiales que forman parte de los distintos cerramientos existentes en la vivienda. Posteriormente, se deberá aplicar la fórmula correspondiente para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor (U). Este cálculo está recogido en el "Anexo III. Apartado 1".

Muros de carga

Los muros de carga exteriores están formados por una doble hoja de ladrillo perforado con cámara de 5 centímetros, que será rellena con poliuretano y lana

de roca, aislando así la vivienda tanto térmica como acústicamente. Estos muros estarán recubiertos tanto interior como exteriormente, con placas de pladur de 2 centímetros para el primer caso y un revestimiento de piedra caliza colocadas con mortero mixto de un centímetro para el segundo caso.

Para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor primero se deberá obtener la conductividad (CTE) y el espesor de cada uno de los materiales que forman el muro y después aplicando la ecuación 33 obtener el coeficiente de transferencia de calor.

$$U_{muro} = \frac{1}{\sum \frac{e_i}{\lambda_i}} \quad (\text{ec.33})$$

Donde:

U_{muro} : Coeficiente de transferencia de calor del muro de carga en (W/m^2K)

e : Espesor del material utilizado en (m)

λ : Conductividad térmica del elemento en $(W/m \cdot K)$

Cubierta

De las configuraciones que recoge el CTE para cubiertas la más similar a la que presenta la vivienda es la inclinada de entramado estructural de madera y ventilada, por tanto, se acude al catálogo de elementos constructivos (CAT-EC) y se obtiene la ficha técnica para esta cubierta representada en la ilustración 55 del "Anexo III. Apartado 1".

Dicha ilustración recoge la ecuación a aplicar, ecuación 35, para obtener el coeficiente de transmisión de calor, para lo que antes hay que calcular la resistencia térmica del aislante con la ecuación 34:

$$R_{AT} = \frac{e}{\lambda} \quad (\text{ec.34})$$

Donde:

R_{AT} : Resistencia térmica del aislante en $(m^2 \cdot K/W)$

e : Espesor del material utilizado (m)

λ : Conductividad térmica del elemento ($W/m \cdot K$)

$$U_{cub} = \frac{1,24}{1,24 + R_{AT}} \quad (ec.35)$$

Donde:

U_{cub} : Coeficiente de transferencia de calor de la cubierta en ($W/m^2 \cdot K$)

R_{AT} : Resistencia térmica del aislante ($m^2 \cdot K/W$)

Pero este coeficiente recién obtenido no será el que se aplique al cálculo de cargas térmicas, ya que las estancias no estarán en contacto directamente con la cubierta, sino que habrá un techo intermedio entre ellas y la cubierta quedando una cámara de aire en el espacio no habitado. Debido a esto se debe calcular otro valor para el coeficiente de transferencia de calor U ya que no es exactamente el mismo que el de la cubierta. Según el CTE se calculará este coeficiente aplicando la ecuación 36:

$$U_{Cub.Real} = U_{cub} * b \quad (ec.36)$$

Donde:

$U_{Cub.Real}$: Coeficiente de transferencia de calor real de la cubierta ($W/m^2 \cdot K$)

U_{cub} : Coeficiente de transferencia de calor de la cubierta ($W/m^2 \cdot K$)

b : Coeficiente de reducción de temperatura

Este coeficiente real de temperatura se obtiene de la tabla 7 del CTE documento DA DB-HE/1, ilustración 56 del "Anexo 3. Apartado 1.", escogiendo el caso 1 al ser un espacio ligeramente ventilado y aislado. Por otro lado, la relación entre áreas de la partición interior y el cerramiento es menor de 25. Con esto se obtiene el valor de b .

Ventanas

En cuanto a las ventanas son importantes dos parámetros, el material del marco de la ventana y el tipo de vidrio. La vivienda cuenta con ventanas de marco de madera de 500 kg/m^3 de densidad, un espesor de vidrio de 4 mm y un porcentaje de marco del 20%. Dicho esto, acudiendo al documento del CAT-EC del CTE y eligiendo la estructura para este tipo de ventana, ilustración 57 del "Anexo III. Apartado 1" se obtiene el valor para el coeficiente de transferencia de calor en las ventanas.

Suelo

Se define la solera según lo que dicta el proyecto como ya se ha reflejado en el apartado 4.3.3 "Cerramientos" de la presente memoria como una solera sanitaria aislada en el cuadro de vivienda.

Acudiendo al CTE se obtiene composición para este tipo de suelo como se puede ver en la ilustración 58 del "Anexo III. Apartado 1".

A continuación, con las capas de suelo obtenidas se calculará el coeficiente de transferencia de calor de cada capa, para las que se deba obtener previamente el espesor y conductividad de cada material utilizado acudiendo al CTE. Como acabado se tomarán baldosas que será el caso más desfavorable de todos los posibles. El coeficiente total del suelo será:

$$U_{\text{suelo}} = \frac{1}{\sum \frac{e_i}{\lambda_i}} \quad (\text{ec.37})$$

Donde:

U_{suelo} : Coeficiente de transferencia de calor del muro de carga en $(\text{W/m}^2\text{K})$

e : Espesor del material utilizado en (m)

λ : Conductividad térmica del elemento en $(\text{W/m} \cdot \text{K})$

Particiones interiores

Se van a centrar estas particiones en tabiques separadores y techo separador, ambos sirven para delimitar zonas internas de la vivienda.

- Tabiques interiores: su composición está reflejada en la ilustración 59 del "Anexo III. Apartado 1".

Al igual que en el resto de apartados se debe obtener el espesor y la conductividad del ladrillo y del pladur y posteriormente calcular el coeficiente de transmisión total tabique con la ecuación 38.

$$U_{Tabique\ Int.} = \frac{1}{\sum \frac{e_i}{\lambda_i}} \quad (ec.38)$$

Donde:

$U_{Tabique\ Int.}$: Coeficiente de transferencia de calor del muro de carga en (W/m^2K)

e : Espesor del material utilizado en (m)

λ : Conductividad térmica del elemento en $(W/m \cdot K)$

- Techo separador: el piso de la primera planta tendrá un forjado como se ha explicado en el apartado 5.3 "Cerramientos" de esta memoria, de vigueta realizada en obra con un canto de 20+4cm. Acudiendo al CAT-EC se obtiene la composición del techo, ilustración 60 del "Anexo III. Apartado 1".

Se acude al CTE para obtener la conductividad y el espesor de cada capa del techo, así como la resistencia térmica de las piezas de hormigón entrevigado la cual se obtiene directamente, y después con esto se calcula el coeficiente de transferencia de calor con la ecuación 39.

$$U_{Techo.} = \frac{1}{\sum \frac{e_i}{\lambda_i}} \quad (ec.39)$$

Donde:

U_{Techo} : Coeficiente de transferencia de calor del muro de carga en (W/m^2K)

e : Espesor del material utilizado en (m)

λ : Conductividad térmica del elemento en ($W/m \cdot K$)

Puentes térmicos

El CTE define como puente térmico a todas aquellas zonas de la envolvente térmica del edificio que sufran una variación en la uniformidad de la construcción, las cuales conlleven una reducción de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento. Se contemplan como variaciones: los cambios de espesor del cerramiento o materiales utilizados, la penetración total o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad o la diferencia entre el área interna y externa del recinto.

El CTE establece una clasificación de los diferentes puentes térmicos muy amplia, para los cuales habría que calcular los coeficientes de transmisión de calor de forma independiente lo que supera el alcance de este proyecto. Debido a esto lo se va a simplificar a un valor general que se obtiene de la tabla B.1 del Anexo B de la norma UNE-EN 12831-1:2019 [36]. Esta tabla está recogida en la ilustración 61 del "Anexo III. Apartado 1.". El valor del coeficiente de transferencia de calor asociado a los puentes térmicos se sumará a la hora de realizar los cálculos al coeficiente de transferencia de calor del cerramiento que esté en contacto con los puentes térmicos, principalmente los muros, las ventanas y la cubierta.

8.2.3 Cargas térmicas

Antes de todo se debe obtener la temperatura seca mínima para un nivel percentil del 97,5% acudiendo a la norma UNE 100014:2004 [37]. Según la norma se obtiene que para edificios de uso general como es el caso de este edificio y para la capital de provincia (Santander), lugar más cercano al municipio del que se tiene registro de datos, la temperatura seca mínima es de $3,8^{\circ}C$.

Para el siguiente cálculo de la demanda energética se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- Cargas térmicas por transmisión de calor a través de superficies planas, como muros, cerramientos, ventanas.
- Pérdidas por ventilación debido a la entrada de aire frío procedente del exterior debido a la renovación del mismo.

A la hora de realizar este cálculo se van a tener en cuenta las correcciones que se deben considerar aplicando los correspondientes coeficientes debidos a la orientación y la intermitencia en el primero de los casos y la ventilación para el segundo.

- Coeficiente de orientación: incremento que se le aplica a la carga térmica en función de la orientación que tomen los cerramientos. Los valores de este parámetro serán los siguientes:
 - o Norte: 1,15
 - o Sur: 1
 - o Este: 1,1
 - o Oeste: 1,05
- Coeficiente de intermitencia: incremento sobre la carga térmica debido a las paradas o interrupciones producidas en el sistema de calefacción. Suele tomar el valor de 1,1 (+10%).
- Coeficiente de renovación: parámetro que mide el número de renovaciones por hora del aire en un espacio cerrado. Al tratarse de una vivienda la instalación no contará con un sistema de renovación automático, por lo que se tomará como renovación de aire las ventilaciones de los habitáculos realizadas por el usuario [38].

Pérdidas por transmisión de calor

Para obtener el valor de estas pérdidas, las cuales se calculara para cada estancia de la vivienda se utilizará la ecuación 40:

$$Q_t = U * S * \Delta T * C_1 * C_2 \quad (\text{ec.40})$$

Donde:

Q_t : Energía térmica perdida por unidad de tiempo (W)

U : Coeficiente de transmisión térmica ($\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$)

S : Superficie (m^2)

ΔT : Diferencia de temperatura entre un lado y el otro del cerramiento o ventana ($^\circ C$)

C_1 : Coeficiente de intermitencia

C_2 : Coeficiente de orientación

Pérdidas por ventilación

Para calcular estas pérdidas de calor debido a la ventilación de las estancias se ha utilizado la siguiente ecuación:

$$Q_V = V * N * C_{aire} * \Delta T \quad (\text{ec.41})$$

Donde:

Q_t : Energía térmica perdida por unidad de tiempo (W)

V : Volumen de la habitación a calefactar (m^3)

N : Número de renovaciones por hora ($\frac{renv}{h}$)

C_{aire} : Calor específico del aire: 0,335 ($\frac{W \text{ h}}{m^3 \text{ } ^\circ C}$)

ΔT : Diferencia de temperatura entre el interior y el exterior ($^\circ C$)

Una vez calculadas tanto las pérdidas por transmisión como por ventilación para cada estancia de la vivienda, se realiza la suma de todas ellas obteniendo de esta forma la demanda energética máxima de la vivienda en vatios calculado en el "Anexo III. Apartado 1".

Tras esto se podrá seleccionar el modelo de caldera de biomasa que se va a utilizar en la instalación teniendo en cuenta que debe ser capaz de cubrir esta demanda según las indicaciones de la Guía Técnica de Agua Caliente Sanitaria Central redactada por el IDAE [39]. Se ha seleccionado teniendo en cuenta lo anterior, el modelo DOMUS FIRE HR C24 del fabricante ANSELMO COLA con una potencia térmica nominal de 23,2 kW con un depósito de pellets de 48 kg. Su ficha técnica está recogida en el "Anexo V".

8.2.4 Sala de máquinas

Sala de calderas

Dimensiones y distancias de la sala

Los sistemas de calefacción formados por calderas de biomasa tienen el inconveniente de necesitar un mayor espacio que los convencionales debido a que deben incluir espacio para la caldera, para el silo de almacenamiento, para el acceso para el suministro, etc.

Los accesos a las calderas y a todos los equipos auxiliares a ellas deben ser amplios y fáciles para evitar así cualquier peligro.

En cumplimiento del reglamento establecido para las distancias en las salas de máquinas se deben garantizar una serie de exigencias [35].

- La sala de máquinas deberá contar con un pasillo desde el exterior hasta su interior por donde se podrá pasar perfectamente con el elemento más grande y pesado de la sala sin tener que eliminar ni apartar ningún otro elemento.
- Todos los espacios alrededor del generador de calor, es decir la parte delantera, trasera, los lados, así como la parte superior, deben estar totalmente libres para poder realizar de forma fácil las operaciones de mantenimiento, limpieza, etc. Cuanto mayor sea el aparato mayor deberán ser las distancias libres a su alrededor. Estas distancias las marcará el fabricante.
- La sala de calderas deberá contar con una altura mínima de 2,5 metros. Se deberá respetar también una altura mínima libre de obstáculos y tuberías sobre la caldera de 0,5 m, aunque se recomienda dejar 1 m.
- En caso de que el fabricante no marque los espacios libres alrededor de la caldera se deberán tomar las siguientes medidas: las calderas a las que se le deba retirar la ceniza deberán tener un espacio frontal libre de vez y media la profundidad de la caldera.
- Entre calderas, así como con los muros laterales y de fondo se recomienda que haya una distancia libre de objetos de 50 cm, aunque es recomendable ampliarla hasta 80 cm para facilitar de este modo las labores de mantenimiento.

- El silo de almacenamiento de combustible deberá estar a una distancia mínima de la caldera de 2,5 m, aunque esta distancia se puede reducir a 0,7 metros en instalaciones ya construidas que sean reformadas, pero deberá existir una pared con resistencia al fuego según lo dictado por el CTE en el Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio (DB-SI).

Por lo tanto, teniendo en cuenta esta serie de exigencias se va proceder a dimensionar la sala de máquinas de este proyecto. Ubicando en ella los elementos que la conforman, ver plano de sala calderas en "Documento 3. Plano 9".

Las dimensiones más importantes de la sala tras ubicar en ella todos los elementos son:

- Dimensiones de la sala: 3x5x4 m
- Dimensiones de la caldera: 1,3x0,58x0,7 m
- Dimensiones del silo: 3x1x1 m
- Distancia de la caldera al silo: 2,62 m
- Distancia de la caldera a la pared por la parte trasera: 0,8 m
- Distancia de la caldera a la pared por el costado izquierdo: 0,8 m
- Distancia libre frontal de la caldera: 1,05 m
- Distancia libre por encima de la caldera: 1,7 m
- Distancia entre el acumulador solar y el auxiliar: 0,8 m
- Diámetro de la chimenea: 0,1 m
- Anchura de la puerta de acceso: 1 m

Cabe destacar también que según las exigencias de la "Guía Técnica de Instalaciones de Calefacción Individual" del IDAE [40] para cubiertas de pendiente mayor de 20°, caso en el que se encuentra esta cubierta, se debe elevar la chimenea un metro por encima de la cumbrera de la cubierta o en los casos en los que la chimenea esté a más de 2,5m de distancia de la cumbre se podrá dejar a la misma altura que este, situación existente para este proyecto.

Ventilación de la sala de calderas

En las salas de calderas un punto a tener muy en cuenta es la ventilación, ya que cuenta con dos funciones esenciales, por un lado, la de evacuar el calor que

generan los equipos en su funcionamiento, y por el otro la de suministrar el aire necesario en la combustión.

A su vez el IDAE recomienda que esta ventilación sea de forma natural, es decir por orificios de la sala que den al exterior. Debiendo colocar estas aberturas si la estructura de la sala lo permite en más de una pared y en paredes opuestas, colocándolas a distintas alturas para favorecer así que haya una corriente cruzada de aire para potenciar así el barrido de la sala.

Estas aperturas deberán estar debidamente protegidas con una rejilla para evitar que sean obstruidas o que puedan entrar insectos u otros elementos del exterior.

Según el IDAE estas aperturas deben ser de 5 cm^2 por cada kW de potencia térmica nominal instalada. En este proyecto la caldera de biomasa instalada tiene una potencia nominal de 23,4 kW, por lo tanto, aplicando la ecuación 42 se obtiene la superficie de ventilación libre mínima necesaria en la sala de calderas [35].

$$A_{min} = 5 * 23,4 = 117 \text{ cm}^2 \quad (\text{ec.42})$$

Área que se dividirá en 2 aperturas rectangulares de 60 cm^2 cada una, colocadas como se ha explicado anteriormente, es decir en paredes opuestas y a diferente altura la una de la otra.

Además, en la parte superior de las paredes se deberán colocar aberturas de superficie como mínimo de una milésima parte de la superficie en planta de la sala de calderas. Es decir, se realizará una abertura alargada en la parte superior de cada una de las paredes de la sala de 200 cm^2 , dado que el área de la sala son 20 m^2 .

Silo de almacenamiento

El biocombustible fósil utilizado en la instalación, pellets, deberá almacenarse en un silo cercano a la caldera. Este silo debe cumplir con los requisitos exigidos en el RITE y que están recogidos en el pliego de condiciones de este proyecto.

En cumplimiento del RITE este silo deberá ser capaz de cubrir la demanda de combustible de al menos 15 días. Este volumen de silo, así como el cálculo de las medidas del mismo están recogidos en el "Anexo III. Apartado 4". Se utilizará un silo de almacenamiento de obra con suelo horizontal.

Como sistema de transporte del combustible desde el propio silo de almacenamiento hasta el depósito interno de la propia caldera se va a utilizar un tornillo sinfín con canal abierto en su totalidad en el interior del silo para poder coger así el combustible de forma más fácil.

Según el cálculo realizado serían necesarias unas medidas del silo de 1,5 metros de alto por 1 metro de ancho y de profundidad [35]. Sin embargo, la altura que finalmente se le va a dar al silo es la altura total de la sala de calderas, es decir 3 m, aprovechando de esta forma la construcción existente.

Adicionalmente habrá que tener en cuenta que las paredes, el suelo y el techo del silo de almacenamiento estarán correctamente impermeabilizadas para evitar así filtraciones y humedades en el combustible sólido [35].

Finalmente, es importante tener en consideración que el silo de almacenamiento estará protegido frente a los incendios según las exigencias del CTE DB-SI. Las paredes de su construcción serán ignífugas cumpliendo con el nivel de riesgo medio siendo capaces de resistir el fuego durante 120 minutos [35].

Chimenea

Es el elemento encargado de evacuar los humos generados por la caldera hacia el exterior del cuarto de calderas o edificio, elevando estos por encima de la cubierta. Suelen ser prácticamente verticales y se conectan a la caldera mediante un conducto de evacuación de humos.

Las chimeneas pueden ser de varios materiales por lo que se las puede clasificar en: chimeneas de obra de fábrica (ladrillo refractario, hormigón, etc.), chimeneas metálicas (acero inoxidable, vitrificado, etc.) o chimeneas plásticas.

En este proyecto en concreto la chimenea va a ser metálica como exige la norma UNE 123001:2012 [41] para las calderas que funcionen con combustibles del tipo 3, clasificación recogida en la tabla 1 de esta norma, grupo al cual pertenecen los combustibles sólidos, en este caso pellets. Este tipo de chimeneas se rigen conforme a las normas UNE-EN 1856-1 [42] y UNE-EN 1856-2 [43].

En la norma UNE 123001:2012 [41] se establece una clasificación para chimeneas metálicas en función de una serie de características de la misma que se van a explicar a continuación con el siguiente ejemplo.

EN 1856-1 T450 N1 W VM-L20040 G50

El primero de los términos (EN 1856-1) es la norma según la que se designa el tipo de chimenea que se va utilizar.

El segundo de los términos (T450) hace referencia a la clase de temperatura. Este parámetro indica la temperatura que soporta la chimenea, puede ir desde 80 a 600°C. Esta temperatura debe ser superior a la temperatura de los gases de combustión de la caldera cuando esta funcione a máxima potencia. El número que acompaña a la T es el valor máximo de temperatura que puede soportar la chimenea en °C.

El tercero de los términos (N1) se refiere a la clase según la presión de funcionamiento de la caldera. Las calderas de tiro natural es decir, de presión negativa llevarán la letra N y las calderas de tiro forzado o presión positiva llevarán las letras P o H. El número que las acompaña indica el caudal de fuga y la presión a la que se ha realizado el ensayo.

El cuarto parámetro (W) hace referencia a la condensación, es decir si la chimenea es resistente a la condensación, si lo es llevará la letra W y si no lo es llevará la D.

El quinto parámetro (VM-L20040) se refiere a la resistencia a la corrosión seguida de la clasificación del material.

En cuanto a la resistencia a la corrosión de la chimenea puede ser V1, V2, V3 o VM. Los tres primeros hacen referencia al tipo de ensayo que ha superado el fabricante para la corrosión, que además suelen ir asociados al tipo de combustible (V1-tipo 1, V2-tipo 2, V3-tipo 3), y el otro término (VM) cuando el fabricante no ha realizado ninguno de los ensayos.

En lo referente al tipo de material, los tres primeros caracteres hacen referencia al material utilizado, L20 sería por ejemplo el AISI 304 (Acero inoxidable). Los 3 últimos caracteres indican el espesor de la chapa, 040 serían 0,4 mm de espesor de chapa. Este parámetro puede aparecer también como una M acompañado de dos números, para ver las correspondencias de este quinto parámetro se debe acudir a la tabla 3 de la Norma UNE 123001:2012 [41].

Y por último el 6 parámetro (G50) se refiere a la resistencia al fuego de hollín seguido de la distancia mínima a materiales combustibles. El primero de los dígitos

hace referencia a si es resistente al fuego indicado con la letra G o si no lo es indicado con la letra O. Los otros 2 dígitos que van a continuación indican la distancia mínima a los materiales combustibles en milímetros. En algunas clasificaciones estos 2 últimos dígitos son evadidos.

En el caso de este proyecto concreto la chimenea es individual y el tipo de combustible utilizado por la caldera es tipo 3, es decir pellets. Por lo tanto, a continuación se debe acudir a la tabla1 de la norma 123001:2012 [41] recogida como ilustración 24 en la que se asigna la chimenea que mejor se adapta a cada tipo de caldera tanto para chimeneas individuales como colectivas.

Tipo de combustible 3	Chimeneas individuales	Chimeneas colectivas multientrada	Chimeneas colectivas en cascada
	UNE-EN 1856-1	UNE-EN 1856-1	UNE-EN 1856-1
Caldera genérica	T450 N1 D V3-MI2 G		
Caldera genérica de baja temperatura	T200 N1 W V2-MI2 G		
Chimeneas de salón abiertas	T400 N1 D V3-MI2 G		
Chimeneas de salón cerradas, estufas o insertables, de leña	T450 N1 D V3-MI2 G		
Chimeneas de salón, estufas o insertables, de pellets	T200 N1 D V3-MI2 G		

Ilustración 24.Designacion según aplicación con combustible tipo 3 (Fuente [41]).

Para el caso de este proyecto, anteriormente explicado y tomando la caldera como el caso genérico, la chimenea que mejor cumple las condiciones seria la metálica que cuente con la siguiente designación:

T450 N1 D V3 M12 G

Acudiendo al catálogo del fabricante de chimeneas JEREMIAS CHIMNEY SYSTEMS se selecciona el modelo de chimenea TWIN BIOMASS cuya designación es:

T450 N1 D V2 L50040 G100

Se puede ver que dicho modelo cumple con todo lo nombrado anteriormente, excepto que cumple un ensayo menos de corrosión, ya que el material, aunque

viene expresado de otra forma es el equivalente a un M12. Se puede ver la ficha técnica de la chimenea en el "Anexo V".

8.3 INSTALACIÓN MINIEÓLICA

8.3.1 Recurso eólico

Antes de seleccionar el tipo de aerogenerador y de dimensionar la instalación necesaria para el aprovechamiento de la electricidad generada, se debe conocer las características del viento donde se va a realizar la instalación. Este análisis permitirá seleccionar el aerogenerador que más convenga y a partir del modelo seleccionado se podrá calcular la energía que va a ser capaz de aportar a la vivienda.

Para obtener los datos de viento pertinentes se acudió a la web de Meteo Cantabria [44]. En esta página se busca la estación meteorológica más cercana al municipio en el que se encuentra ubicada la vivienda (estación meteorológica de Ramales de la Victoria) como se puede ver a continuación.



Ilustración 25. Ubicación de la estación meteorológica seleccionada en meteocantabria (Fuente [44]).

De la página Web de meteocantabria se puede obtener la velocidad y dirección del viento, precipitación, temperatura y humedad en esa estación para cada una de las horas del día en un año natural, descargándolos directamente según se muestra en la siguiente ilustración 26. Estos datos se encuentran medidos a la altura a la que se encuentra la estación, en este caso 10 metros sobre el nivel del suelo.

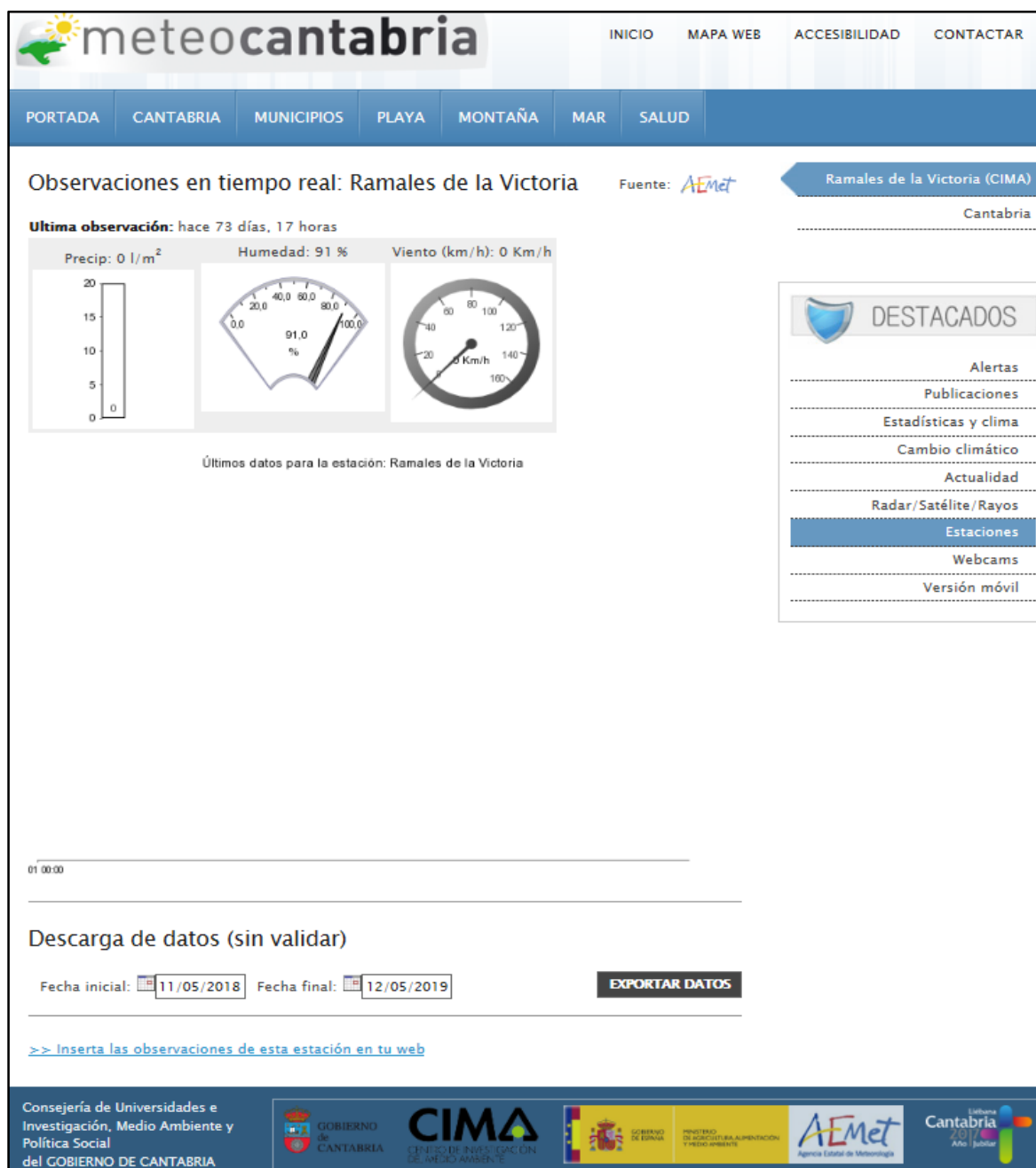


Ilustración 26. Datos referentes a la estación meteorológica de Ramales de la Victoria (Fuente [44]).

Una vez obtenidos estos datos de viento se debe calcular la dirección dominante en la que sopla más el viento a lo largo del año para orientar el aerogenerador en esa dirección, aunque este disponga de un sistema de orientación que le permita colocarse en la dirección en la que haya viento. También debe obtenerse la velocidad media del viento. Tras la realización de estos cálculos se obtiene una velocidad media de viento de 1,74m/s y una dirección dominante de viento proveniente del oeste, hacia donde se orientarán los aerogeneradores.

Es importante remarcar que en el caso de llevar a cabo esta instalación se debería tomar datos de viento diarios durante mínimo un año en el sitio exacto donde se quieren colocar los aerogeneradores. Sin embargo esta campaña de toma de datos queda fuera del alcance de este proyecto académico, ya que no se dispone ni del tiempo ni la infraestructura necesaria para hacerlo.

8.3.2 Tipo de instalación

En cuanto a las posibles configuraciones que se podrán tener en función del acople de los aerogeneradores a la instalación eléctrica de la vivienda esta instalación será una instalación para el autoconsumo, ya que es el objetivo del presente proyecto.

En esta instalación los aerogeneradores estarán conectados en corriente continua a unas baterías y por otro lado también estarán conectados a la red interna de la vivienda. De tal modo que en la vivienda se consumirá directamente toda la energía generada por los aerogeneradores.

Además, en esta configuración se almacena en baterías la energía sobrante en los momentos en los que la demanda de energía sea menor que la generada, para así poder utilizar esta energía en otros momentos de necesidad. Por ejemplo puede ser una opción adecuada almacenar energía durante la noche cuando el consumo es prácticamente nulo en la vivienda, para utilizar esta energía almacenada a lo largo del día.

Por otro lado, este tipo de instalación posee unos costes de operación y mantenimiento muy bajos, se elimina además el gasto en la distribución y transporte de energía de la compañía eléctrica, y además es una energía con un impacto ambiental prácticamente nulo con lo que se contribuye a la mejora del cambio climático.

8.3.3 Tipo y comparación de aerogeneradores

En cuanto a tipos de aerogeneradores de pequeña potencia se pueden encontrar varios en función de la orientación del eje del rotor. Los tipos que se pueden encontrar son [45, 46]:

- Aerogeneradores de eje horizontal: presentan el eje paralelo a la dirección del viento. Son los más utilizados en la actualidad para la producción de energía ya que tienen una mayor eficiencia energética llegando a alcanzar altas velocidades de giro en algunos modelos. Se pueden clasificar en función de su velocidad de giro en [45]:
 - o Aerogeneradores rápidos: son capaces de alcanzar grandes velocidades de giro por lo que se suelen utilizar para la producción de energía eléctrica en parques eólicos, llegando a aportar potencias de entre 1kW y 10 MW. Por lo general suelen estar compuestos por 3 palas que consiguen arrancar con 5 m/s de velocidad de viento.
 - o Aerogeneradores de velocidad media: Es el más utilizado cuando las condiciones de viento del emplazamiento no son muy favorables, dado que es capaz de arrancar con velocidades bajas y dar un buen aporte de energía con ellas. Suelen contar con un número de palas de entre 3 y 6, y ser de baja potencia por lo que se utilizan para la producción de energía eléctrica en pequeñas instalaciones.
 - o Aerogeneradores de baja velocidad: Son capaces de arrancar y funcionar a velocidades de viento muy bajas debido a su elevado número de palas, lo que no les hace muy idóneos para la producción de energía, pero sí para el bombeo de agua.



Ilustración 27. Aerogenerador de eje horizontal (Fuente [47]).

- Aerogeneradores de eje vertical: su eje está en la posición vertical a la dirección del viento. Cabe destacar que son omnidireccionales, por lo que no necesitan un sistema de orientación además de presentar un coste de mantenimiento inferior a los de eje horizontal. Sin embargo, son menos eficientes que los anteriores pudiendo necesitar incluso sistemas de arranque en algunos casos. Aunque hay muchos modelos los más conocidos y utilizados son [46]:
 - Aerogenerador Savonius: Es el modelo más simple y está formado por 2 semicilindros desplazados sobre su eje. Las partes cóncavas del cilindro presentan una gran resistencia al viento, por lo que sólo puede utilizarse a bajas velocidades. Su uso principal es para aplicaciones de tipo mecánico. En el caso de desear utilizarlo en la producción eléctrica se necesitarían multiplicadores de giro lo que provocaría un descenso del rendimiento.
 - Aerogenerador Darrierus: Está formado por 2 o 3 palas curvadas unidas al eje del aerogenerador por los extremos. Este sistema aún está poco implantado. Es capaz de alcanzar unas velocidades de giro

mayores que las del anterior modelo, pero sin embargo necesita de un sistema externo de arranque.



Ilustración 28. Aerogeneradores de eje vertical (Fuente [48]).

8.3.4 Cálculo de potencia

Para calcular la energía eléctrica que son capaces de producir los aerogeneradores de la instalación es necesario calcular antes la probabilidad de viento para cada velocidad que se tendrá en el emplazamiento donde se encuentra la vivienda.

Además, dado que la velocidad del viento está continuamente cambiando, es preciso utilizar algún tipo de método estadístico para poder predecir su evolución a lo largo de un período de tiempo. Es para esto para lo que se va a utilizar la llamada distribución de Weibull.

Distribución de Weibull

Es una función estadística en forma de curva utilizada para caracterizar la velocidad del viento en un emplazamiento. Esta función se representa como una función de probabilidad dependiente de 2 parámetros.

El parámetro de escala c que determina la amplitud de la función de distribución, cuanto más amplio es este parámetro más amplia es la distribución.

Y por otro lado el parámetro de forma k que determina la forma de la distribución. En la siguiente ilustración se puede apreciar cómo cambia la forma de la distribución variando el valor de k desde 1,2 hasta 2,8 en intervalos de 0,4 para un mismo valor de c [49].

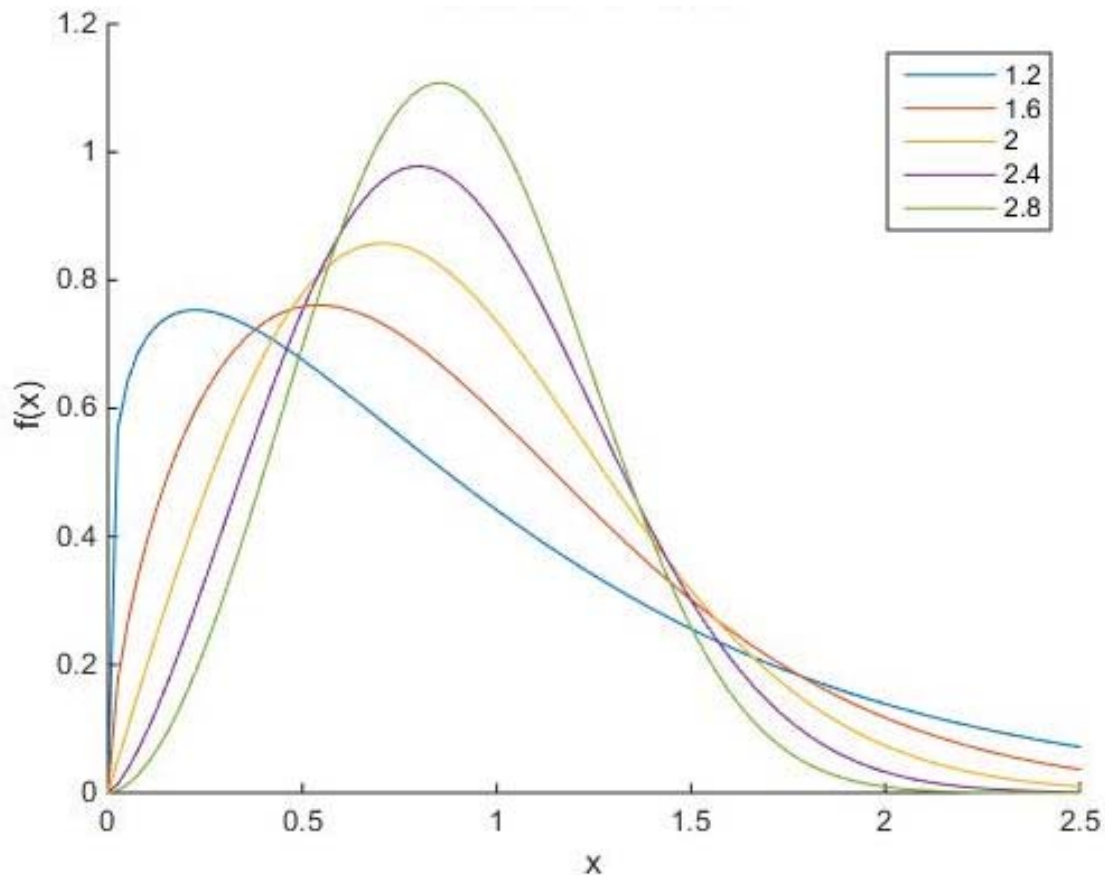


Ilustración 29. Ejemplo de la variación en la distribución de Weibull variando el factor de forma K (Fuente [50]).

La función de probabilidad de Weibull para la velocidad de viento viene determinada por la siguiente ecuación:

$$p(v) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (k > 0, \quad v > 0, \quad c > 1) \quad (\text{ec. 43})$$

Donde:

$p(v)$: Probabilidad de que se dé la velocidad escogida en un tiempo determinado

v : Velocidad para la que se calcula la probabilidad (m/s)

k : Parámetro de forma

c : Parámetro de escala (m/s)

Ahora bien, para poder calcular la función distribución es necesario calcular los parámetros c y k de Weibull. Para ello se va a utilizar el método de mínimos cuadrados o método gráfico.

Este método consiste en realizar un ajuste lineal con los datos de viento registrados por la estación meteorológica.

Para ello lo primero que se deberá hacer será obtener la frecuencia de cada una de las velocidades registradas para un año en la estación meteorológica que se ha empleado como fuente de datos.

A continuación, se deberá calcular la frecuencia relativa acumulada F para el rango de velocidades registradas.

Una vez hecho esto se procede al ajuste de la recta mediante las siguientes ecuaciones que se representaran gráficamente a continuación.

$$y = \ln[-\ln(1 - F(v))] \quad (\text{ec. 44})$$

$$x = \ln(v) \quad (\text{ec. 45})$$

Donde:

y : Coordenada del eje de ordenadas

$F(v)$: Frecuencia relativa acumulada para una velocidad v

v : Velocidad seleccionada (m/s)

x : Coordenada del eje de abscisas

Calculando el valor tanto de x como de y para cada velocidad, cálculos reflejados en la Tabla 49 del "Anexo IV. Apartado 1", se puede realizar gráficamente el ajuste lineal de los datos obteniendo la siguiente ilustración:

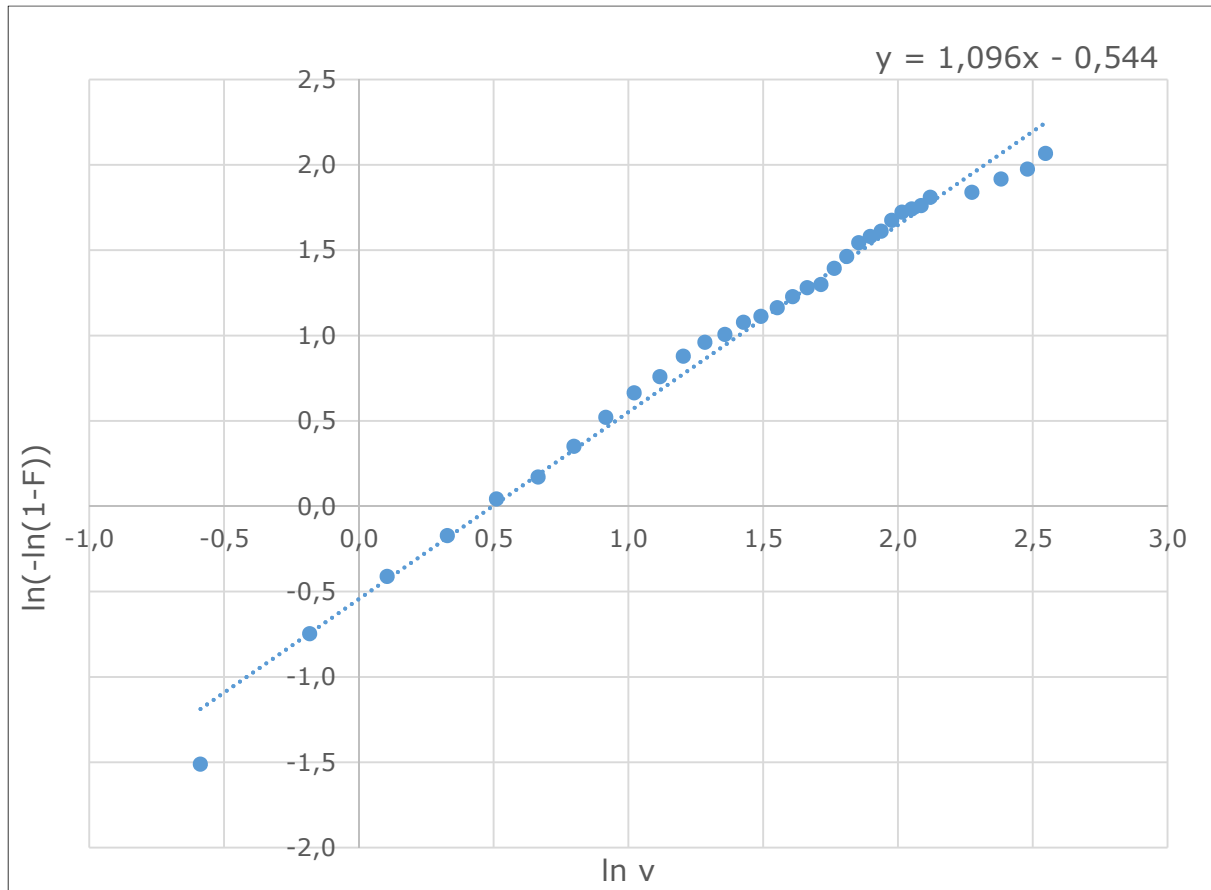


Ilustración 30. Ajuste lineal de los datos registrados por la estación meteorológica (Fuente: Elaboración propia).

Una vez representada la recta, se obtiene la ecuación de la recta, $y = ax + b$, a partir del ajuste:

$$y = 1,096x - 0,544 \quad (\text{ec. 46})$$

La pendiente de esta recta es el valor de k y c se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$c = e^{-\left(\frac{b}{k}\right)} \quad (\text{ec. 47})$$

Por lo tanto, c y k tendrán un valor de 1,096 y 1,642 respectivamente. Una vez obtenido el valor de estos 2 parámetros se podría aplicar la ecuación de obtención de la probabilidad de que se de una determinada velocidad (ecuación 43). Esta ecuación es función de los parámetros de la distribución de Weibull. Aplicando la

ecuación 43 a los distintos valores de velocidad registrados en una zona es posible obtener la distribución, representada en la siguiente ilustración para el caso de la ubicación:

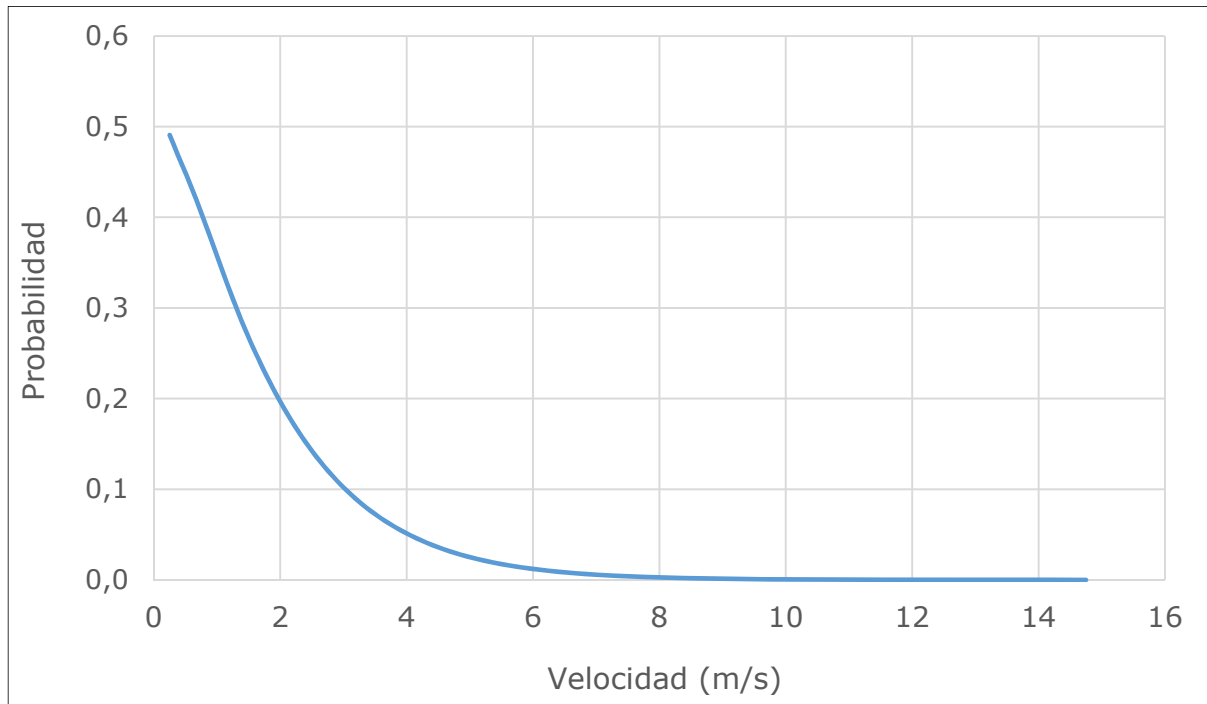


Ilustración 31. Distribución de Weibull en el emplazamiento de la instalación (Fuente: Elaboración propia).

Cálculo de la potencia

La potencia se ha obtenido de la curva de potencia en relación a la velocidad para el aerogenerador seleccionado y que está recogida en su ficha técnica.

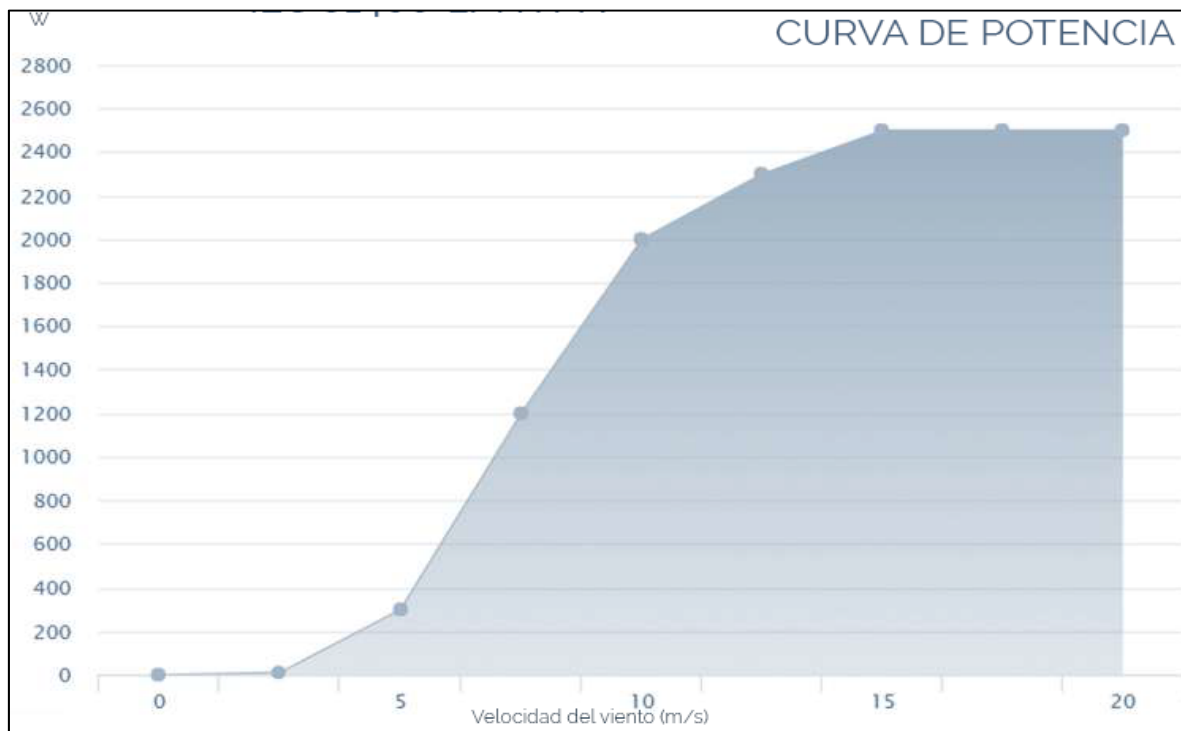


Ilustración 32. Curva de potencia del aerogenerador Enair E30PRO (Fuente: [51]).

Una vez obtenida la potencia para cada velocidad se procederá a calcular la potencia que será capaz de aportar el aerogenerador utilizando la ecuación para aerogeneradores de regulación activa, que calcula por un lado la potencia del aerogenerador desde su velocidad de arranque, punto en el que comienza a dar potencia hasta el punto de la curva en el cual alcanza su velocidad y potencia nominal. Y por otro lado la potencia para desde el punto en el que alcanza la velocidad nominal hasta que se adquiere la velocidad de parada, momento en el que el aerogenerador se detiene y deja de aportar potencia. Estos 2 tramos se pueden ver en la ilustración 33 que aparece a continuación [4]:

$$\langle P \rangle = \int_{v_A}^{v_N} p(v) \cdot P(v) dv + P_N \cdot \int_{v_N}^{v_D} p(v) dv = A + B \quad (\text{ec. 48})$$

Donde:

$\langle P \rangle$: Potencia media (W)

v_N : Velocidad nominal del aerogenerador (m/s)

v_A : Velocidad de arranque (m/s)

$p(v)$: Probabilidad para cada velocidad

$P(v)$: Potencia para cada velocidad (W)

dv : Intervalo de velocidad seleccionado

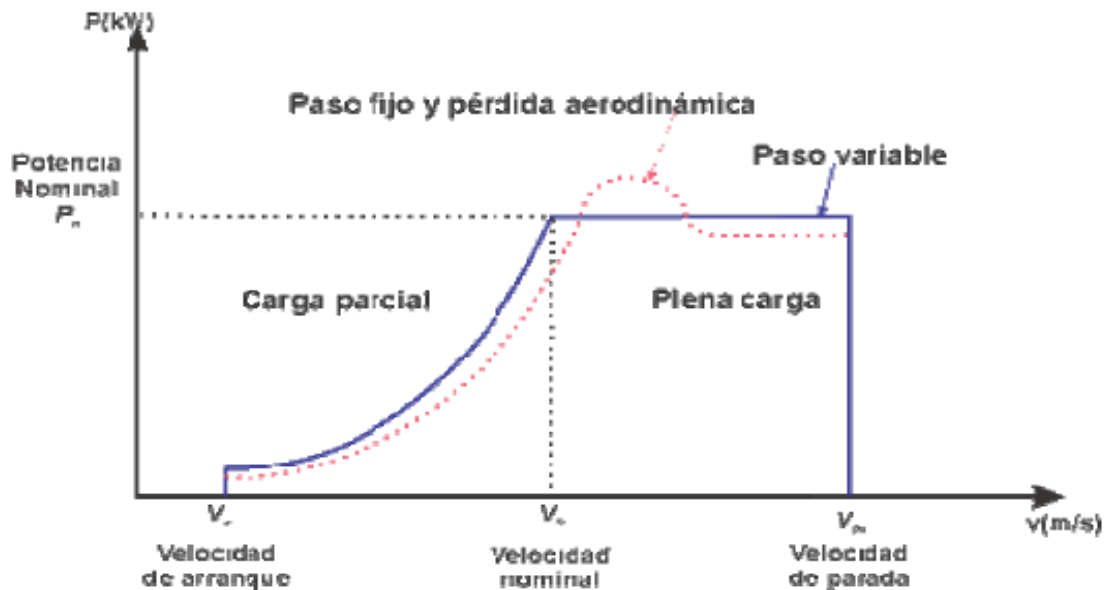


Ilustración 33. Curva de carga general de un aerogenerador (Fuente [4]).

Tras realizar este cálculo se obtuvo una producción total de potencia de 46,55 W para un aerogenerador del modelo seleccionado y considerando que está instalado a 10 metros de altura, coincidiendo con la altura de la estación meteorológica.

Multiplicando esta potencia por las horas anuales este aerogenerador aportaría una energía anual de 407,78 kWh/año, aerogenerador denominado Aerogenerador 1 a partir de ahora. Estos cálculos se encuentran expresados en "Anexo IV. Apartado 1."

Teniendo en cuenta que la instalación cuenta con otros dos aerogeneradores colocados a distintas alturas debido a la disponibilidad de colocación para conseguir la zona más alta de ubicación, se deben recalcular los parámetros de Weibull (c , k) para esas alturas, y posteriormente repetir este cálculo de energía anual obtenida para los otros dos aerogeneradores a instalar.

Las ecuaciones para recalcular estos datos serían las siguientes:

$$k' = k \cdot \left(\frac{1 - 0,088 \cdot \ln\left(\frac{z}{10}\right)}{1 - 0,088 \cdot \ln\left(\frac{z'}{10}\right)} \right) \quad (\text{ec. 49})$$

$$c' = c \cdot \left(\frac{z'}{z}\right)^\beta \quad (\text{ec. 50})$$

$$\beta = \frac{0,37 - 0,088 \cdot \ln c}{1 - 0,088 \cdot \ln(z/10)} \quad (\text{ec. 51})$$

Donde:

k : Parámetro de forma a la altura inicial de 10 m

k' : Parámetro de forma a la altura final

z : Altura inicial de 10 (m) para la que se tienen los datos de velocidad

z' : Altura final (m) a la que se va a colocar el buje del aerogenerador

c : Parámetro de escala a la altura inicial de 10 m (m/s)

c' : Parámetro de escala a la altura final (m/s)

β : Constante necesaria para la corrección del parámetro de escala a una altura diferente a la que se han medido los datos de velocidad

Una vez obtenidos los nuevos parámetros de Weibull a las alturas de 8,5 y 11 m, correspondientes a los otros 2 aerogeneradores, denominados Aerogenerador 2 y Aerogenerador 3 a partir de ahora, es necesario volver a repetir el cálculo realizado con el aerogenerador 1 para obtener la energía que aportaría cada uno de los otros dos aerogeneradores.

Finalmente se ha obtenido una energía anual de 360,5 kWh/año para el Aerogenerador 2 y 438,2 kWh/año para el Aerogenerador 3. Es decir, el total de energía que aportaría la instalación anualmente sumando los 3 aerogeneradores sería de 1206,5 kWh/año.

Los pertinentes cálculos de la energía de cada aerogenerador, así como la suma total se encuentran en el "Anexo IV. Apartado 1."

8.3.5 Instalación y montaje

Descripción de la instalación

La instalación de generación eléctrica consiste en un sistema de generación para el autoconsumo formado por 3 aerogeneradores de 3 kW de potencia cada uno de

ellos, es decir una potencia eólica total instalada de 9 kW. No se ha podido instalar más aerogeneradores dado que la presencia de obstáculos y las distancias a respetar entre aerogeneradores no lo hacían posible.

Los 3 aerogeneradores producirán energía en corriente alterna trifásica, que deberá ser conducida hasta el controlador de carga eólico, equipo que se encargará de transformar esta corriente alterna de entrada a corriente continua de salida. Este equipo será además el encargado de controlar la carga de baterías por un lado y la resistencia de derivación por el otro.

En cuanto a las baterías, el controlador de carga deberá ser el que controle la carga y descarga de las mismas cuando haya excedente o ausencia de viento. Y en lo referente a la resistencia de derivación será este equipo el que se encargue de conectar la resistencia de disipación cuando la generación sea mayor que el consumo y no se pueda almacenar más energía, para así dotar al circuito de una carga evitando el embalamiento.

Esta corriente continua procedente del controlador de carga con las condiciones idóneas de entrada al inversor se pasa a través de este para que la convierte a corriente alterna monofásica en su salida a las condiciones adecuadas para poder conectarla al cuadro general de la vivienda 230 V y 50 Hz.

Tanto el controlador de carga, como las baterías y el inversor, se encuentran en una pequeña edificación centralizada cercana a la vivienda hasta donde llegan los circuitos procedentes de los 3 aerogeneradores y de donde parte el circuito de conexión a la vivienda.

Los aerogeneradores estarán ubicados en 3 posiciones distintas y por tanto a 3 alturas distintas. Uno de ellos en el tejado de una vivienda deshabitada cercana a la propia vivienda (Aerogenerador 1) a 10 metros sobre el suelo. Otro en el tejado del garaje (Aerogenerador 2) a 8,5 metros y, por último, otro en el tejado de la propia vivienda (Aerogenerador 3) a 11 metros. Todos ellos orientados hacia el oeste, dirección dominante del viento, aunque tienen la capacidad de orientarse hacia cualquier dirección. Se han elegido estas ubicaciones dado que eran las más factibles para evitar interferencias de obstáculos y además buscar una ubicación lo más elevada posible para mejorar la producción.

Los 3 aerogeneradores cuentan con una torre de 2,5 metros cumpliendo con las condiciones impuestas por el fabricante de los aerogeneradores, así como por el Código Técnico de la Edificación.

La conexión física de los circuitos tanto de corriente alterna como continua, se ha llevado a cabo mediante conductores RZ1-K instalados en sus debidas canalizaciones cumpliendo con lo establecido por la norma UNE-HD 60364-5-52 [52] y el Reglamento electrotécnico para baja tensión (REBT) 2019 [53] conductor que cumple las exigencias mínimas establecidas según la Instrucción Técnica Complementaria de Baja Tensión ITC-BT-14.

Por otro lado, toda la instalación contará con todas las protecciones pertinentes tanto para sobretensiones, sobreintensidades, contactos directos e indirectos según el RBET 2019 [53] y la ITC-BT-40 [54]. Contará también con elementos de corte para la desconexión de cualquier parte del circuito en caso de necesidad por reparación o mantenimiento. Para así salvaguardar tanto la seguridad del sistema como la de los usuarios.

La organización y distribución de los componentes de la instalación así como todo lo referente a la instalación eléctrica está recogido en el "Documento 3. Planos 10 y 11".

Componentes de la instalación

Aerogeneradores

Los aerogeneradores se definen principalmente por sus características técnicas, siendo las más importantes la potencia y la velocidad de arranque. En este trabajo debido a las condiciones de viento disponibles toma gran relevancia la segunda. El aerogenerador seleccionado en este proyecto ha sido el modelo E30PRO del fabricante ENAIR cuya ficha técnica se puede ver en el "Anexo V".

Sus principales características técnicas son:

- Número de palas: 3
- Generador: 250 rpm, imanes de neodimio
- Potencia: 3000W
- Tensión: 24 / 48 / 220 V

- Diámetro: 3,80 m
- Peso: 125 kg
- Velocidad de arranque: 2 m/s
- Velocidad nominal: 11 m/s
- Velocidad de supervivencia: 60 m/s

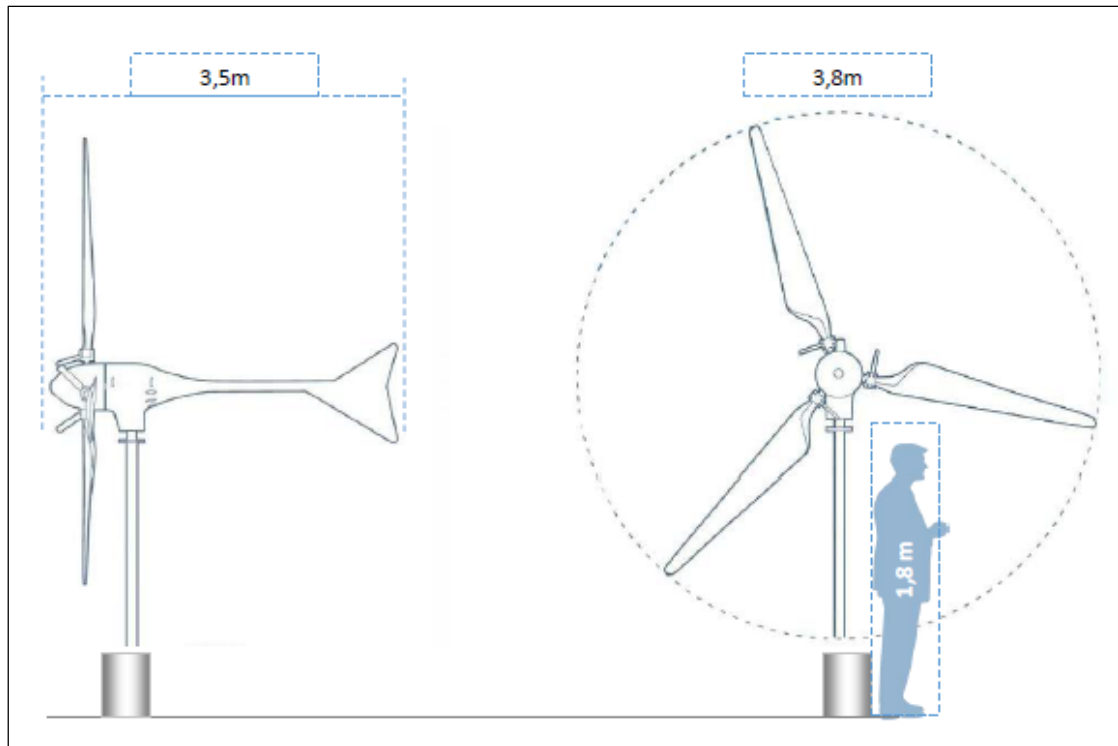


Ilustración 34. Características y dimensiones técnico-constructivas del Enair E30PRO (Fuente [55]).

Controlador de carga

El controlador de carga es el sistema encargado de convertir la corriente alterna a la entrada procedente del aerogenerador en corriente continua a la salida para poder adaptarla a las condiciones de entrada del inversor eólico y de las baterías. Además, también tiene la tarea de regular el flujo eléctrico entre la vivienda y las baterías, manteniendo siempre que sea posible las baterías cargadas sin que estas sufran sobrecargas para utilizarlas en caso de necesidad controlando el proceso de conexión y desconexión de las mismas. También tendrá la función de encargarse de derivar la energía generada a la resistencia de disipación cuando esta energía no se esté utilizando, para evitar el embalamiento de los aerogeneradores.

El modelo seleccionado será el suministrado por el fabricante del aerogenerador llamado Wind Interface Pro, cuyas principales características son:

- Tensión de entrada: 0 – 500 V
- Máxima corriente de entrada: 30 A
- Tensión de salida: 0 – 750 V
- Máxima corriente de salida: 40 A CC

Baterías

Son las encargadas de almacenar la energía en los momentos de exceso para poder utilizarla cuando sea necesario. Suelen estar formadas por células de carga conectadas entre sí en serie o paralelo para conseguir los niveles de voltaje o capacidad requeridos. Este tipo de baterías suelen tener un porcentaje de descarga entorno al 80%. Se ha seleccionado el modelo de batería Enersol-T de 24 V / 1150 Ah del fabricante TUDOR formada por 12 células de 2 V, modelo del cual según el cálculo realizado en el "Anexo IV. Apartado 3." se necesitan 2 baterías para cubrir la demanda de 3 días. Las características técnicas de la batería se pueden comprobar en la ficha técnica de la misma adjuntada en el "Anexo V".

Resistencia de disipación

Esta resistencia será la encargada de disipar por efecto Joule la energía excedente producida, en el momento en el que el consumo sea menor que la generación y no sea posible almacenarla, evitando así el deterioro de los aerogeneradores debido al embalamiento. Esta resistencia será suministrada por el fabricante del aerogenerador al adquirir el mismo.

Sus características son las siguientes:

- Potencia de entrada: 9000W
- Máxima tensión de entrada 24 V
- Máxima corriente de entrada 375 A

Inversor

El inversor eólico es el elemento encargado de transformar la corriente continua procedente del regulador en corriente alterna monofásica 230 V y 50 Hz para suministrarla a la vivienda. El modelo seleccionado es el inversor monofásico 1P10K-4G del fabricante SOLIS.

Sus principales características son:

- Potencia máxima de entrada: 11,5 kW
- Tensión máxima de entrada: 500 V
- Máxima corriente de entrada: 30 A
- Potencia nominal de salida: 10 kW
- Tensión nominal de salida: 220 / 230 V
- Máxima corriente de salida: 45,5 A
- Frecuencia nominal de red: 50 / 60 Hz
- Eficiencia máxima: 98,1%

Además, el inversor cuenta con todas las protecciones que son necesarias frente a sobretensiones, sobrecorrientes, cortocircuitos, corrientes residuales, temperaturas, etc. Se puede consultar su ficha técnica en el "Anexo V".



Ilustración 35. Dimensiones del inversor eólico Solis-1P10K-4G (Fuente: [56]).

8.3.6 Cálculo línea eléctrica

Circuitos de la instalación

Circuito 1: Aerogenerador – Controlador de carga

Este circuito trabajará con corriente alterna trifásica a una tensión de 400 V. Estará dividido a su vez en 3 sub-circuitos al tener un circuito distinto para cada

aerogenerador dado que el método de instalación según lo establecido por la norma UNE-HD 60364-5-52 [52] y la longitud de los circuitos será distinta. Aunque según la ITC-BT-14 [57] su caída de tensión máxima admisible en tanto por ciento debe ser como máximo de 1,5 %, se ha calculado el circuito para una caída del 0,5%.

Los circuitos para los aerogeneradores 1 y 3 tendrán un tramo en un conducto fijado a la superficie del tejado y de la pared de mampostería, por cuyo interior circulará un conductor multipolar método de instalación B2 según la norma UNE-HD 60364-5-52 [52] y otro tramo en el que el conductor multipolar irá en el interior de un conducto enterrado método de instalación D1. Las distancias de cada tramo para cada circuito serán de 11,5 y 13 m para el aerogenerador 1 y 14 y 6 m para el aerogenerador 3.

En el caso del aerogenerador 2 sin embargo, todo el circuito irá en un conducto fijado a la superficie del tejado y de la pared de mampostería, por cuyo interior circulará un conductor multipolar método de instalación B2 que tendrá una longitud de 14,5 m. Esta descripción que se acaba de realizar se puede ver gráficamente en el "Documento 3.Plano 10"

Circuito 2: Controlador de carga – Inversor

Este circuito trabajará en corriente continua a una tensión de 24 V. La instalación será mediante un cable multiconductor fijado a la pared sin espaciarle de la misma, lo que atiende a un tipo de instalación C. Este circuito contará con una longitud de 2 m y estará en el interior de un habitáculo donde se centralizará el controlador de carga, el inversor, las baterías y la resistencia de derivación. Su caída de tensión máxima admisible en tanto por ciento según la ITC-BT-14 [57] debe ser como máximo de 1,5%.

Circuito 3: Controlador de carga – Resistencia de derivación

Este circuito trabajará en corriente continua a una tensión de 24 V. El tipo de instalación será mediante conductor multipolar fijado a la pared y sin espaciar de la misma y el método de instalación será tipo C según la clasificación de la norma UNE-HD 60364-5-52 [52]. Tendrá una longitud de 2 m y al igual que el circuito 2 se ubicará en el mismo habitáculo. Su caída de tensión máxima admisible en tanto por ciento según la ITC-BT-14 [57] debe ser como máximo de 1,5 %.

Circuito 4: Inversor – Cuadro eléctrico de la vivienda

Este circuito trabajará en corriente alterna monofásica a 230 V de tensión. El conductor utilizado será un conductor multipolar termoestable recubierto con XLPE enterrado en conducto cerrado, método de instalación D1 según la norma UNE-HD 60364-5-52 [52]. Tendrá una longitud de 4 m y una caída de tensión máxima permitida del 1,5%.

Sección de los conductores

Se ha dividido la instalación en 4 circuitos diferentes, dimensionando cada uno de ellos por separado y clasificándolos en función del tipo de conductor y el tipo de instalación utilizada en cada circuito según la clasificación realizada por la norma UNE-HD 60364-5-52 [52].

El conductor utilizado es el conductor AFUMEX CLASS 1000 V designado genéricamente como RZ1-K (AS) que cumple con las exigencias de la ITC-BT-14 [57] y la NORMA UNE 21123-4 [58].

Para elegir la sección más adecuada de los conductores de cobre se aplicara los siguientes criterios para cumplir las exigencias del REBT [53] y la norma UNE-HD 60364-5-52 [52]:

- Criterio del cálculo de la sección por la intensidad máxima admisible.
- Criterio del cálculo de la sección por la caída de tensión.

En instalaciones de media y alta tensión se debe aplicar también el criterio de la máxima intensidad de cortocircuito, pero en baja tensión, el caso de esta instalación las protecciones limitan mucho la duración de los cortocircuitos, reduciéndolos hasta valores de 0,1 s por lo que este criterio se puede despreciar, aunque se calculará para cada conductor su máxima intensidad de cortocircuito.

Primero se aplicará el primer método calculando la intensidad máxima admisible de cada circuito con las siguientes ecuaciones en función de si es un circuito de corriente alterna trifásica ecuación 52, corriente continua ecuación 53 o alterna monofásica ecuación 54.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos(\varphi)} \quad (\text{ec. 52})$$

$$I = \frac{P}{V} \quad (\text{ec. 53})$$

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos(\varphi)} \quad (\text{ec. 54})$$

Donde:

I : Intensidad que circula por el circuito (A)

P : Potencia del circuito (W)

V : Tensión del circuito (V)

$\cos(\varphi)$: Factor de potencia de la instalación, 1 en este caso.

Una vez calculada la intensidad se debe acudir a las tablas de las intensidades máximas admisibles según el tipo de instalación del circuito de la Norma UNE-HD 60364-5-52 [52] y elegir la sección inmediatamente superior que sea capaz de soportar la intensidad obtenida con la ecuación anterior.

Una vez calculada esta sección por el primer método se debe comprobar si esta sección es suficiente para cumplir el segundo de los criterios.

Para aplicar este criterio se deberá consultar la ITC-BT-40 donde se establece la máxima caída de tensión permitida para cada circuito en tanto por ciento y calcularla a continuación en voltios con la ecuación 55:

$$e = V \cdot cdt\% \quad (\text{ec. 55})$$

Donde:

e : Valor de la caída de tensión (V)

V : Tension del circuito (V)

$cdt\%$: Caída de tensión en tanto por ciento

Una vez calculada la caída de tensión máxima en voltios para el circuito se debe calcular la sección con la ecuación 56 si el circuito es de corriente alterna trifásica y la ecuación 57 si es de corriente alterna monofásica o corriente continua.

$$S_{cdt} = \frac{L \cdot P}{\gamma \cdot e \cdot V} \quad (\text{ec. 56})$$

$$S_{cdt} = \frac{2 \cdot L \cdot P}{\gamma \cdot e \cdot V} \quad (\text{ec. 57})$$

Donde:

S_{cdt} : Sección obtenida por el criterio de caída de tensión (mm^2)

L : Longitud de conductor (m)

P : Potencia del circuito (W)

γ : Conductividad del conductor seleccionado ($\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$), 45,5 en este caso.

e : Valor de la caída de tensión (V)

V : Tension del circuito (V)

Si esta sección es inferior a la obtenida por el primer criterio la sección seleccionada en primer lugar cumpliría también el criterio de la caída de tensión máxima permitida, por lo que sería válida. Pero en el caso de que la sección obtenida por el segundo criterio fuera mayor se debería de seleccionar la mayor, dado que sería la que cumple los 2 criterios.

Por último a modo indicativo una vez seleccionada la sección se calculará también la máxima intensidad de cortocircuito que puede soportar cada circuito acudiendo a la tabla de la intensidad máxima de cortocircuito de la norma UNE-HD 60364-4-43 [59].

Los cálculos para el dimensionado de los conductores se encuentran realizados en el "Anexo IV. Apartado 2".

Cálculo del neutro

El dimensionado del conductor neutro se va a realizar de acuerdo a lo establecido por las exigencias de la ITC-BT-06 [60] y la ITC-BT-07 [61] que dice que para

distribuciones con 2 o 3 conductores, el caso de todos los circuitos de esta instalación, el conductor neutro tendrá la misma sección que el conductor de fase. Según esto, se ha realizado el dimensionado del conductor neutro para cada circuito en el "Anexo IV. Apartado 4".

Puestas a tierra

Las estructuras de los 3 aerogeneradores estarán conectadas a una puesta a tierra independiente de la del sistema según la ITC-BT-40 [54]. Esta se realizará mediante conductor de protección de cobre de 50 mm² conectados a una pica de 2 metros de longitud y 14 mm de diámetro.

La parte de corriente alterna y continua tendrá una puesta a tierra común, mediante pica de 2 m de longitud y 14 mm de diámetro conectado al puente de comprobación de tierra mediante conductor desnudo de cobre de 35 mm². Los conductores de protección de corriente alterna serán de la misma sección que los de fase según la ITC-BT-18 [62], serán por tanto de 1,5 mm² y 6 mm² en función de cada circuito.

En la parte de corriente continua de la instalación el esquema será IT con conductores activos aislados de tierra. Las masas metálicas de la instalación irán conectadas a tierra mediante latiguillos de cobre de sección mayor o igual a 6 mm² unidos a las masas por conductores de protección de la mitad de la sección de los conductores de fase del circuito, en este caso serán de 95 mm².

Para los circuitos de corriente alterna se seguirá un esquema de distribución TT, con las masas de los equipos conectadas a un conductor de protección y el neutro puesto a tierra.

Según la norma UNE-HD 60364-4-41 [63] se debe cumplir la siguiente condición para los sistemas de corriente alterna, la tensión de contacto en corriente alterna deberá ser menor a la tensión de contacto límite.

$$U_{ca} = I_{dca} \cdot R_{ca} \leq U_{cl} \quad (\text{ec. 58})$$

Donde:

U_{ca} : Tensión de contacto (V)

I_{dca} : Corriente de defecto en primer fallo (A)

R_{ca} : Resistencia de la puesta a tierra de la instalación (Ω)

U_{cl} : Tensión de contacto limite (V)

Para el sistema de corriente continua según la norma que se acaba de nombrar no sería necesario realizar este cálculo ya que la corriente de defecto se considera insignificante, por lo que puede despreciarse.

El cálculo de la resistencia del terreno a la puesta a tierra y la comprobación de que se cumple la condición de la máxima tensión de contacto se ha realizado en el "Anexo IV. Apartado 5".

Dimensionado de las canalizaciones

Las canalizaciones para el alojamiento de los tubos deberán tener un diámetro tal que permitan un fácil alojamiento y extracción de los cables y conductores aislados. El dimensionado de estos tubos viene especificado en la ITC-BT-21 [64] la cual se va a seguir para realizarlo. Esta norma establece los diámetros de tubo en función del diámetro y número de conductores que aloje el propio tubo, distinguiendo además entre las distintas posibilidades de instalación del tubo.

Para calcular el diámetro del tubo correspondiente a cada circuito se acude a la tabla pertinente de la ITC-BT-21 [64] para el modo de instalación de la canalización, y con la sección y el número de conductores que circulan por ella se obtiene el diámetro del tubo a instalar.

El dimensionado de las canalizaciones para cada uno de los 4 circuitos de la instalación se ha realizado en el "Anexo IV. Apartado 6"

Protecciones de la instalación

Protecciones de corriente continua

- Sobrecorrientes: los fenómenos de sobrecorrientes pueden ser muy perjudiciales tanto para el inversor como para los componentes electrónicos del sistema. Aunque el propio inversor ya esté protegido contra

sobrecorrientes se van a colocar fusibles electrónicos como protección en los circuitos de corriente continua.

- Sobretensiones: se deberá proteger el circuito contra sobretensiones de origen atmosférico, por lo que se instalarán interruptores automáticos en los circuitos de corriente continua que además se podrán utilizar como elementos de corte en las labores de mantenimiento o reparación.
- Contactos directos e indirectos: todos los componentes de la instalación tendrán aislamiento de clase II. Simultáneamente el circuito de corriente continua del inversor estará protegido dado que el inversor llevará incorporado un sistema de protección contra aislamiento, desconectando el circuito en el momento que detecta el límite establecido de aislamiento.

Protecciones de corriente alterna

- Sobrecorrientes: Según el Real Decreto RD 900/2015 [65] y el RBET [53] se debe colocar un interruptor general con poder de corte superior a la corriente de cortocircuito en el punto de conexión. Para el se utilizará un interruptor magnetotérmico colocando uno en cada uno de los 2 circuitos de corriente alterna de la instalación. Este dispositivo se podrá desconectar también manualmente para garantizar la seguridad del personal durante las labores de mantenimiento o de reparación de la instalación.
- Sobretensiones: La instalación se encuentra protegida frente a sobretensiones de tipo III dado que el inversor lleva esta protección integrada, pero a su vez se van a instalar protecciones frente a sobretensiones de tipo II mediante interruptores diferenciales.
- Contactos directos e indirectos: La instalación llevará colocado un interruptor diferencial general con una sensibilidad de 300 mA de sensibilidad tipo A

9 ESTUDIO DE VIABILIDAD

Para determinar la viabilidad económica del presente proyecto se va a recurrir a la técnica financiera del VAN (Valor Actual Neto), la cual permitirá evaluar la viabilidad de la inversión que hay que realizar para llevar a cabo el proyecto. En

el presente proyecto se evalúa la viabilidad de la sustitución del actual sistema de cobertura de demanda térmica y eléctrica por un sistema de energías renovables, adaptando una vivienda convencional hacia la nueva era de las energías renovables, contribuyendo a la mejora del medio ambiente. Se calculará mediante la siguiente ecuación 59:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n} \quad (\text{ec. 59})$$

Donde:

I_0 : es la inversión realizada en el momento inicial ($t=0$), (€)

F_t : es el valor del flujo de caja en cada año (€)

k : es la tasa de interés que se le exige a la inversión

t : es el número de periodos de tiempo, seleccionando periodos anuales (año)

El flujo de caja anual de este proyecto se ha calculado como los ingresos menos los gastos de mantenimiento de la instalación, considerando un gasto de mantenimiento de la instalación de 490 euros al año, 450 € de la parte eléctrica y 40€ de la parte térmica.

Se han considerado como ingresos el ahorro resultante de la sustitución de las instalaciones actuales por las basadas en energías renovables. Este ahorro se ha producido en la adquisición del combustible de la caldera (se ha cambiado gasoil por pellets) por un lado y por otro en la factura eléctrica (se ha reducido el coste del término fijo asociado a la potencia contratada y el término variable asociado al consumo).

Para realizar el cálculo se estimará por una parte el gasto anual con el sistema anterior calculando tanto el gasto en euros en gasoil con la caldera convencional, como el gasto anual eléctrico basándose en las facturas eléctricas representadas en el "Anexo I".

Por otra parte, se obtendrá el gasto anual en euros en consumo de pellets y el gasto anual eléctrico una vez instalado el sistema eólico. Como este segundo gasto va a ser menor, la diferencia entre ambos se ha interpretado como ingreso.

El gasto anual eléctrico en euros una vez implantada la instalación se calculará como el ahorro en la parte que es capaz de cubrir la instalación eólica, ya que no es capaz de cubrir todo el consumo. Si se compara el consumo eléctrico anual de la vivienda, 4476 kWh con la producción anual de los 3 aerogeneradores, 1207 kWh estos solo serían capaces de cubrir un 30%. Por lo tanto, se debería seguir teniendo la vivienda conectada a la red ya que las condiciones del entorno no facilitan la colocación de más aerogeneradores en el entorno cercano a la vivienda.

Para el cálculo tanto del gasto en gasoil, como en pellets y energía eléctrica se debe tener en cuenta que este precio es fluctuante.

En el "Anexo VI" se recogen los cálculos del VAN para un horizonte de 25 años, ya que es el periodo de vida útil de los componentes de la instalación. Se ha obtenido que, en este período de tiempo, el ahorro conseguido en la vivienda mediante energías renovables (solar, biomasa y eólica) no sería capaz de hacer viable la inversión necesaria para su implantación con los precios actuales.

Sin embargo, si se elimina la parte del sistema eólico de la instalación sustituyendo únicamente la caldera de gasoil por caldera de biomasa y energía solar térmica, el cálculo del VAN muestra que sería rentable desde un punto de vista económico la inversión a realizar, contribuyendo además a reducir el impacto ambiental al sustituir un combustible convencional por energías renovables.

10 BIBLIOGRAFÍA

[1] Aplicaciones de la energía solar térmica, 2018. Disponible en: <https://solar-energia.net/energia-solar-termica> [último acceso: mayo 2019]

[2] Agua caliente para uso sanitario (ACS), 2008. Disponible en: <https://suelosolar.com/guiasolares/acs.asp> [último acceso: mayo 2019]

[3] Generación eléctrica en España 2017. Bajan las renovables, suben las emisiones, 2018. Disponible en: www.diariorenovables.com/2018/01/generacion-electrica-espana-2017-bajan.html [último acceso: mayo 2019]

[4] Fernández, I. Apuntes asignatura ampliación de energías renovables de cuarto curso del Grado en Ingeniería Eléctrica, 2017. Universidad de Cantabria.

- [5] La biomasa: producir energía con un sistema ecológico, 2014. Disponible en: <http://ebasl.es/producir-energia-con-la-biomasa> [último acceso: mayo 2019]
- [6] Calderas de biomasa: el retorno a la leña, 2014. Disponible en: <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/calefaccion/informe/calderas-biomasa> [último acceso: mayo 2019]
- [7] Energía minieólica, otra forma de autoconsumo, 2018. Disponible en: <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/energia-renovable/informe/energia-minieolica> [último acceso: enero 2019]
- [8] Mapa de España político mudo, 2018. Disponible en: <http://www.guiatur.es/mapa-de-espana-politico-mudo/> [último acceso: mayo 2019]
- [9] Google Maps. <https://www.google.com/maps/search/wordpress+mapa+espa%C3%B1a/@43.3070359,-3.6413152,11.22z> [último acceso: mayo 2019]
- [10] Sede electrónica del catastro. Buscador de inmuebles, 2019. Disponible en: <https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/mapa.aspx?buscar=S> [último acceso: mayo 2019]
- [11] AENOR norma UNE-EN 338:2016. Madera estructural. Clases resistentes.
- [12] Sistema solar térmico centralizado para edificios multivivienda, 2016. Disponible en: http://www.minenergia.cl/sst/wp-content/uploads/2016/05/sistema_solar_termico_centralizado-1.pdf [último acceso: mayo 2019]
- [13] Instalación centralizada de calefacción y ACS para comunidades de vecinos, 2014. Disponible en: <https://www.certificadosenergeticos.com/instalacion-centralizada-calefaccion-ac-s-comunidades-vecinos> [último acceso: mayo 2019]
- [14] Guía sobre tecnología mini-eólica de Fenercom, 2012. Disponible en: https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia_sobre_Energia_Solar_Termica_fenercom_2016.pdf [último acceso: mayo 2019]
- [15] Manual técnico energía solar térmica, 4ª Edición, Salvador Escoda. Disponible en: https://www.salvadorescoda.com/tecnico/solar/Manual_Energia_Solar_4a_ed_Salvador_Escoda.pdf [último acceso: mayo 2019]

- [16] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/MRcalc.php> [último acceso: mayo 2019]
- [17] Datos AEMET desde 2013, temperaturas. Disponible en:
<https://datosclima.es/Aemet2013/Tempestad2013.php> [último acceso: mayo 2019]
- [18] Código Técnico de la Edificación (CTE). Disponible en:
<https://www.codigotecnico.org/> [último acceso: mayo 2019]
- [19] Cañada, J. Manual de energía solar térmica. Diseño y cálculo de instalaciones. Universidad Politécnica de Valencia. Servicio de Publicación, 2008. ISBN: 9788483633373
- [20] Guía ASIT de la energía solar térmica, documento reconocido del RITE. Disponible en: <http://www.cni-instaladores.com/volcado/normativa/RITE-guiaASIT-solartermica.pdf> [último acceso: mayo 2019]
- [21] Instalación solar térmica: fases del proceso de montaje, 2015. Disponible en: http://tomaseficiencia.blogspot.com/2015/03/instalacion-solar-termica-fases-del_6.html [último acceso: mayo 2019]
- [22] Instalación solar fotovoltaica para vivienda. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html> [último acceso: mayo 2019]
- [23] Catálogo Saunier Duval Marzo 2019-1413149. Disponible en: <https://www.saunierduval.es/downloads/tarifa-saunier-duval/2019-3/tarifa-sd-marzo2019-1413149.pdf> [último acceso: mayo 2019]
- [24] Protección catódica para depósitos de agua, 2018. Disponible en: <https://www.mecalia.com/mecalia/proteccion-catodica-depositos-agua/> [último acceso: mayo 2019]
- [25] Eficacia del ánodo de magnesio según su ubicación, 2019. Disponible en: <https://www.cointra.es/articulo-2/> [último acceso: mayo 2019]
- [26] Ánodos de sacrificio. Disponible en: <https://www.ingesco.com/es/productos/anodos-de-sacrificio> [último acceso: mayo 2019]

- [27] Altube, Z. Análisis de instalaciones de ACS mediante energía térmica solar, 2018. <https://addi.ehu.es/handle/10810/25777> [último acceso: mayo 2019]
- [28] AENOR norma UNE 100155:2004. Climatización. Diseño y cálculo de sistemas de expansión.
- [29] Tobajas, M.C. Energía Solar Térmica para Instaladores. Cano Pina S.L., 2012. ISBN: 9788496960718
- [30] Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía, (IDAE). Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura (PCT), 2009. Disponible en: <https://www.idae.es/publicaciones/instalaciones-de-energia-solar-termica-pliego-de-condiciones-tecnicas-de-instalaciones-de-baja> [último acceso: mayo 2019]
- [31] Illán, F. Eficiencia energética en las instalaciones de calefacción y ACS en los edificios. S.L. Ediciones CEYSA. Cano Pina S.L., 2015. ISBN: 9788416338054
- [32] Sondas térmicas en motores eléctricos: PTC, NTD, RTD ¿Qué las diferencia?, 2017. Disponible en: <http://www.motorlan.es/es/sondas-termicas-motores-electricos-ptc-ntc-rtd-las-diferencia/> [último acceso: mayo 2019]
- [33] Control de instalaciones solares térmicas, 2015. Disponible en: <https://juanfrancisco207.wordpress.com/2015/02/26/control-de-instalaciones-solares-termicas/> [último acceso: mayo 2019]
- [34] Que es la envolvente térmica de un edificio y que elementos la componen, 2012. Disponible en: <http://eco-logicos.es/2012/03/que-es-la-envolvente-termica-de-un-edificio-casa-o-vivienda-y-sus-elementos/> [último acceso: mayo 2019]
- [35] Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía, (IDAE). Guía técnica para Instalaciones de biomasa térmica en edificios. Disponible en: <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-instalaciones-de-biomasa-termica-en-edificios> [último acceso: mayo 2019]
- [36] AENOR norma UNE-EN 12831-1:2019. Eficiencia energética de los edificios. Método para el cálculo de la carga térmica de diseño. Parte 1: Carga térmica de los locales. Módulo M3-3.

[37] AENOR norma UNE-EN 100014:2004. Climatización. Bases para el proyecto. Condiciones exteriores de cálculo.

[38] Cálculo de la carga térmica de calefacción de una vivienda, 2016. Disponible en: <http://coolproyect.es/2016/10/16/calculo-de-la-carga-termica-de-calefaccion-de-una-vivienda/> [último acceso: mayo 2019]

[39] Guía Técnica de Agua Caliente Sanitaria Central del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Disponible en: <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-agua-caliente-sanitaria-central> [último acceso: mayo 2019]

[40] Guía Técnica de Instalaciones de Calefacción Individual del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Disponible en: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_16_Climatizacion_Guia_Tecnica_Instalaciones_Calefaccion_Individual__f1cefbe6.pdf [último acceso: mayo 2019]

[41] AENOR norma UNE 123001:2012. Cálculo, diseño e instalación de chimeneas modulares.

[42] AENOR norma UNE-EN 1856-1:2010. Chimeneas. Requisitos para chimeneas metálicas. Parte 1: Chimeneas modulares.

[43] AENOR norma UNE-EN 1856-2:2010. Chimeneas. Requisitos para chimeneas metálicas. Parte 2: Conductos interiores y conductos de unión metálicos.

[44] Observaciones en tiempo real: Ramales de la Victoria, 2019. Disponible en: https://www.meteocantabria.es/meteocantabria/observaciones?estacionAutomatica=BBDD_CIMA_36 [último acceso: junio 2019]

[45] Eólica. Tipos de aerogeneradores. Disponible en: http://opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html [último acceso: junio 2019]

[46] Antezana, J.C. Diseño y construcción de un prototipo de generador eólico de eje vertical, 2004. Disponible en: <https://www.uv.es/~navasqui/OtrosAerogeneradores/Aerogen-vertical.pdf> [último acceso: junio 2019]

- [47] Pérez, M. Aerodinámica de aerogenerador de eje horizontal de 500 kW, 2018. Disponible en: https://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/TFE004002.pdf [último acceso: junio 2019]
- [48] Sus inicios, 2015. Disponible en: <http://infoenereo.blogspot.com/2015/11/sus-inicios.html> [último acceso: junio 2019]
- [49] Álvarez, W.F., Martínez, L.A. y Alvarado, A.C. Aplicación de la ecuación de Weibull para determinar potencial eólico en Tunja-Colombia, 2013. Disponible en: <http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2013/12/Alvarez-Casta%C3%B1eda-William--Aplicacion-Ecuacion-de-Weibull.pdf> [último acceso: junio 2019]
- [50] Función de distribución de Weibull, 2016. Disponible en: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/datos/viento/estadistica.html> [último acceso: junio 2019]
- [51] Ficha técnica aerogenerador ENAIR E30PRO. Disponible en: <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e30pro> [último acceso: junio 2019]
- [52] AENOR norma UNE-HD 60364-5-52:2014. Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 5-52: Selección e instalación de equipos eléctricos. Canalizaciones.
- [53] Reglamento electrotécnico para baja tensión e ITC, Última modificación: 10 de abril de 2019. Disponible en: https://www.boe.es/legislacion/codigos/codigo.php?id=326_Reglamento_electro_tecnico_para_baja_tension_e_ITC&modo=1 [último acceso: junio 2019]
- [54] Instrucción técnica complementaria de baja tensión. Instalaciones generadoras de baja tensión (ITC-BT-40). Disponible en: http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/ITC_BT_40.pdf [último acceso: junio 2019]
- [55] Manual de Usuario del aerogenerador ENAIR E30PRO. Disponible en: https://www.enair.es/descargas/Manual/MANUAL_E30PROX2_es.pdf
- [56] Ficha técnica de Inversor SOLIS 1P10K-4G. Disponible en: http://www.ginlong.com/1p_inverter2/3351.html [último acceso: junio 2019]

[57] Instrucción técnica complementaria de baja tensión. Instalaciones de enlace. Línea general de alimentación (ITC-BT-14). Disponible en: http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/ITC_BT_14.pdf [último acceso: junio 2019]

[58] AENOR norma UNE 21123-4:2017. Cables eléctricos de utilización industrial de tensión asignada 0,6/1 kV. Parte 4: Cables con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de poliolefina.

[59] AENOR norma UNE-HD 60364-4-43:2013. Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 4-43: Protección para garantizar la seguridad. Protección contra las sobrecorrientes.

[60] Instrucción técnica complementaria de baja tensión. Redes aéreas para distribución en baja tensión (ITC-BT-06). Disponible en: http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/ITC_BT_06.pdf [último acceso: junio 2019]

[61] Instrucción técnica complementaria de baja tensión. Redes subterráneas para distribución en baja tensión (ITC-BT-07). Disponible en: http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/ITC_BT_07.pdf [último acceso: junio 2019]

[62] Instrucción técnica complementaria de baja tensión. Instalaciones de puesta a tierra (ITC-BT-18). Disponible en: http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/ITC_BT_18.pdf [último acceso: junio 2019]

[63] AENOR norma UNE-HD 60364-4-41:2018. Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 4-41: Protección para garantizar la seguridad. Protección contra los choques eléctricos.

[64] Instrucción técnica complementaria de baja tensión. Instalaciones interiores o receptoras. Tubos y canales protectoras (ITC-BT-21). Disponible en: http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/ITC_BT_21.pdf [último acceso: junio 2019]

[65] Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo (RD

900/2015). Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2015/10/10/pdfs/BOE-A-2015-10927.pdf> [último acceso: junio 2019]

[66] Calculadora de luz diurna, número de horas de luz diurna. Disponible en: <http://jan.moesen.nu/daylight-calculator/?location=matienzo%2C+cantabria%2C+spain&latitude=&longitude> [último acceso: mayo 2019]

[67] Ábacos de propilenglicol, 2009. Disponible en: https://www.solarweb.net/forosolar/attachments/solar-termica/1142d1248911220-abacos-propilenglicol-temperatura_congelacion_glicol.jpg [último acceso: mayo 2019]

[68] Zabalza, I., Aranda, A. Energía solar térmica. Zaragoza: Pressas Universitarias de Zaragoza. Servicio de publicación, 2009. ISBN: 9788492521722 Disponible en: <https://books.google.es/books?id=E2LjDAAQBAJ&pg=PA128&lpg=PA128&dq=curvas+concentración+propilenglicol+en+funcion+de+la+viscosidad&source=bl&ots=pVFIcxwDOF&sig=ACfU3U11oQLa6U09OpalRdFY7rWPEyBHMA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwihxeTf7vXhAhUIWxoKHSvECCAQ6AEwDHoECAgQAQ#v=onepage&q&f=false> [último acceso: mayo 2019]

[69] Tubos y accesorios de cobre. Medidas y normas. Disponible en: https://elcobre.com/sites/default/files/publication_files/medidas-y-normas-tubos-cobre.pdf [último acceso: mayo 2019]

[70] Guía básica para el profesional, técnico o proyectista, en las instalaciones de conducción de fluidos. Dimensionado de las instalaciones. AFTA. Disponible en: <http://www.afta-asociacion.com/wp-content/uploads/Cap-4-Dimensionado-de-Instalaciones.pdf> [último acceso: mayo 2019]

[71] Catálogo técnico de bombas circuladoras HALM 2018. Disponible en: https://www.sysclima.com/images/descargas/catalogo_tecnico_bombas_circuladoras_HALM_2018.pdf [último acceso: mayo 2019]

[72] Documento Catalogo de elementos constructivos (CAT-EC) del Código Técnico de la Edificación (CTE). Disponible en: https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/aplicaciones/nCatalog_infoEConstr/CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf [último acceso: mayo 2019]

[73] AENOR norma UNE-EN 149201:2017. Abastecimiento de agua. Dimensionado de instalaciones de agua para consumo humano dentro de los edificios.

[74] Ábaco de Moody. Disponible en: <https://raulsmtz.files.wordpress.com/2011/03/moody.jpg> [último acceso: mayo 2019]

[75] Tarifa profesional de precios 2018. Calefaccion, A.C.S., climatizacion, agua fría, drenaje, aguas residuales. WILO. Disponible en: <https://www.saneamientosdimasa.es/descargas/WILO%202018.pdf> [último acceso: mayo 2019]

[76] Guía técnica de aplicación de baja tensión. Anexo 2. Cálculo de las caídas de tensión. (Guia-BT-Anexo 2) Disponible en: http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/guias/guia_bt_anexo_2_sep03R1.pdf [último acceso: junio 2019]

[77] Libro blanco de la instalación. Manual técnico y práctico de cables y accesorios para baja tensión. Prysmian Group. 2018. Disponible en: https://es.prysmiangroup.com/libro_blanco_de_la_instalacion_Baja_Tension

DOCUMENTO 2.

ANEXOS

DOCUMENTO 2. ANEXOS

DOCUMENTO 2. ANEXOS	115
ANEXO I. FACTURACIÓN ELECTRICA	118
ANEXO II. CÁLCULOS INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA	122
1 CÁLCULO DEMANDA DE AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS).....	122
2 CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA	124
3 CÁLCULO DE LA SUPERFICIE DE CAPTACIÓN	126
4 CÁLCULO DEL NÚMERO DE CAPTADORES SOLARES	132
5 ESTUDIO COMPARATIVO DEL MODELO DE CAPTADORES	132
6 CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR LA DISPOSICIÓN GEOMÉTRICA DE LOS CAPTADORES	135
7 CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE	137
8 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL INTERCAMBIADOR DE PLACAS.....	137
9 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN Y VISCOSIDAD DEL FLUIDO CALOPORTADOR	138
10 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LAS TUBERÍAS DEL CIRCUITO PRIMARIO .	140
11 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE AISLAMIENTO DE LAS TUBERÍAS DEL CIRCUITO PRIMARIO	143
12 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA DEL CIRCUITO PRIMARIO.....	144
13 CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL VASO DE EXPANSIÓN DEL CIRCUITO PRIMARIO	148
14 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LAS TUBERÍAS DEL CIRCUITO SECUNDARIO	151
15 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE AISLAMIENTO DE LAS TUBERÍAS DEL CIRCUITO SECUNDARIO	151
16 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA DEL CIRCUITO SECUNDARIO	152
17 CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL VASO DE EXPANSIÓN DEL CIRCUITO SECUNDARIO	154
ANEXO III. CÁLCULOS INSTALACIÓN AUXILIAR DE ENERGÍA	157
1 CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA MÁXIMA PARA CALEFACCIÓN ...	157
1.1 MUROS DE CARGA	157
1.2 CUBIERTA.....	158
1.3 VENTANAS	159
1.4 SUELO.....	160

1.5 PARTICIONES INTERIORES.....	162
2 DEMANDA ENERGÉTICA POR CONSUMO DE ACS.....	172
3 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA POR EL CIRCUITO DE ACS Y CALEFACCIÓN	173
3.1 PÉRDIDAS CIRCUITO ACS.....	173
3.2 DIMENSIONADO DE LAS BOMBAS	179
4.1 DIMENSIONADO DEL INTERACUMULADOR.....	183
4.2 VOLUMEN DE SILO DE ALMACENAMIENTO.....	184
ANEXO IV. CÁLCULOS INSTALACIÓN MINI-EÓLICA	186
1 CÁLCULO DE POTENCIA	186
2 CÁLCULO DE CONDUCTORES	192
2.1 CIRCUITO 1: AEROGENERADOR – CONTROLADOR DE CARGA	193
2.2 CIRCUITO 2: CONTROLADOR DE CARGA – INVERSOR.....	200
2.3 CIRCUITO 3: CONTROLADOR DE CARGA – RESISTENCIA DE DERIVACIÓN	202
2.4 CIRCUITO 4: INVERSOR – CUADRO ELÉCTRICO DE LA VIVIENDA	203
3 DIMENSIONADO DEL BANCO DE BATERÍAS.....	205
4 CÁLCULO DEL NEUTRO	206
5 CÁLCULO DE LA TOMA DE TIERRA	207
6 CÁLCULO DE LOS TUBOS/CANALIZACIONES	209
ANEXO V. FICHAS TÉCNICAS	212
1 SISTEMA SOLAR	212
1.1 CATADOR SOLAR.....	212
1.2 INTERCAMBIADOR	213
1.3 ACUMULADOR	214
2 SISTEMA AUXILIAR.....	215
2.1 CALDERA DE BIOMASA.....	215
2.2 CHIMENEA	217
2.3 INTERACUMULADOR.....	218
3 SISTEMA EÓLICO	219
3.1 AEROGENERADOR	219
3.2 INVERSOR	221
3.3 BATERÍA.....	222
ANEXO VI. ESTUDIO VIABILIDAD ECONÓMICA	223

ANEXO I. FACTURACIÓN ELÉCTRICA

Debido al gran espacio que ocupan las facturas eléctricas de la compañía, además de contener datos personales del titular, se ha realizado un resumen de las mismas para un año natural desde el mes de mayo del año 2018 hasta el mes de abril del año 2019, ambos inclusive.

Periodo de facturación		03/05/2018 al 02/06/2018	
Tipo coste	Concepto	Cálculos	Importe (€)
Costes fijos	Coste potencia contratada (CP)	5,75 kW x 31 días x 38,043 €/kW año	18,58
	Alquiler equipos medida (A)	0,026 € x 31 días	0,83
Costes variables	Consumo (P1) 405 kW	405 x 0,044 €/kWh	17,83
	21% IVA	0,21 x (CP + A + P1)	7,82
	TOTAL FACTURA (€)		45,06

Tabla 4. Factura resumen mayo 2018. (Fuente: Elaboración propia).

Periodo de facturación		03/06/2018 al 02/07/2018	
Tipo coste	Concepto	Cálculos	Importe (€)
Costes fijos	Coste potencia contratada (CP)	5,75 kW x 30 días x 38,043 €/kW año	17,98
	Alquiler equipos medida (A)	0,026 € x 30 días	0,8
Costes variables	Consumo (P1) 345 kW	345 x 0,044 €/kWh	15,19
	21% IVA	0,21 x (CP + A + P1)	7,13
	TOTAL FACTURA (€)		41,10

Tabla 5. Factura resumen junio 2018. (Fuente: Elaboración propia).

Periodo de facturación		03/07/2018 al 02/08/2018	
Tipo coste	Concepto	Cálculos	Importe (€)
Costes fijos	Coste potencia contratada (CP)	5,75 kW x 30 días x 38,043 €/kW año	18,58
	Alquiler equipos medida (A)	0,026 € x 30 días	0,83
Costes variables	Consumo (P1) 292 kW	292 x 0,044 €/kWh	12,86
	21% IVA	0,21 x (CP + A + P1)	6,78
	TOTAL FACTURA (€)		39,04

Tabla 6. Factura resumen julio 2018. (Fuente: Elaboración propia).

Periodo de facturación		03/08/2018 al 02/09/2018	
Tipo coste	Concepto	Cálculos	Importe (€)
Costes fijos	Coste potencia contratada (CP)	5,75 kW x 31 días x 38,043 €/kW año	18,58
	Alquiler equipos medida (A)	0,026 € x 31 días	0,83
Costes variables	Consumo (P1) 287 kW	287 x 0,044 €/kWh	12,64
	21% IVA	0,21 x (CP + A + P1)	6,73
	TOTAL FACTURA (€)		38,78

Tabla 7. Factura resumen agosto 2018. (Fuente: Elaboración propia).

Periodo de facturación		03/09/2018 al 02/10/2018	
Tipo coste	Concepto	Cálculos	Importe (€)
Costes fijos	Coste potencia contratada (CP)	5,75 kW x 30 días x 38,043 €/kW año	17,98
	Alquiler equipos medida (A)	0,026 € x 30 días	0,8
Costes variables	Consumo (P1) 312 kW	312 x 0,044 €/kWh	13,74
	21% IVA	0,21 x (CP + A + P1)	6,83
	TOTAL FACTURA (€)		39,34

Tabla 8 Factura resumen septiembre 2018. (Fuente: Elaboración propia).

Periodo de facturación		03/10/2018 al 02/11/2018	
Tipo coste	Concepto	Cálculos	Importe (€)
Costes fijos	Coste potencia contratada (CP)	5,75 kW x 31 días x 38,043 €/kW año	18,58
	Alquiler equipos medida (A)	0,026 € x 31 días	0,83
Costes variables	Consumo (P1) 399 kW	399 x 0,044 €/kWh	17,57
	21% IVA	0,21 x (CP + A + P1)	7,77
	TOTAL FACTURA (€)		44,74

Tabla 9. Factura resumen octubre 2018. (Fuente: Elaboración propia).

Periodo de facturación		03/11/2018 al 02/12/2018	
Tipo coste	Concepto	Cálculos	Importe (€)
Costes fijos	Coste potencia contratada (CP)	5,75 kW x 30 días x 38,043 €/kW año	17,98
	Alquiler equipos medida (A)	0,026 € x 30 días	0,8
Costes variables	Consumo (P1) 376 kW	376 x 0,044 €/kWh	16,55
	21% IVA	0,21 x (CP + A + P1)	7,42
	TOTAL FACTURA (€)		42,75

Tabla 10. Factura resumen noviembre 2018. (Fuente: Elaboración propia).

Periodo de facturación		03/12/2018 al 02/01/2019	
Tipo coste	Concepto	Cálculos	Importe (€)
Costes fijos	Coste potencia contratada (CP)	5,75 kW x 31 días x 38,043 €/kW año	18,58
	Alquiler equipos medida (A)	0,026 € x 31 días	0,83
Costes variables	Consumo (P1) 398 kW	398 x 0,044 €/kWh	17,52
	21% IVA	0,21 x (CP + A + P1)	7,76
	TOTAL FACTURA (€)		44,69

Tabla 11. Factura resumen diciembre 2018. (Fuente: Elaboración propia).

Periodo de facturación		03/01/2019 al 02/02/2019	
Tipo coste	Concepto	Cálculos	Importe (€)
Costes fijos	Coste potencia contratada (CP)	5,75 kW x 31 días x 38,043 €/kW año	18,58
	Alquiler equipos medida (A)	0,026 € x 31 días	0,83
Costes variables	Consumo (P1) 457 kW	457 x 0,044 €/kWh	20,12
	21% IVA	0,21 x (CP + A + P1)	8,30
	TOTAL FACTURA (€)		47,83

Tabla 12. Factura resumen enero 2019. (Fuente: Elaboración propia).

Periodo de facturación		03/02/2019 al 02/03/2019	
Tipo coste	Concepto	Cálculos	Importe (€)
Costes fijos	Coste potencia contratada (CP)	5,75 kW x 28 días x 38,043 €/kW año	16,78
	Alquiler equipos medida (A)	0,026 € x 28 días	0,75
Costes variables	Consumo (P1) 385 kW	385 x 0,044 €/kWh	16,95
	21% IVA	0,21 x (CP + A + P1)	7,24
TOTAL FACTURA (€)			41,72

Tabla 13. Factura resumen febrero 2019. (Fuente: Elaboración propia).

Periodo de facturación		03/03/2019 al 02/04/2019	
Tipo coste	Concepto	Cálculos	Importe (€)
Costes fijos	Coste potencia contratada (CP)	5,75 kW x 31 días x 38,043 €/kW año	18,58
	Alquiler equipos medida (A)	0,026 € x 31 días	0,83
Costes variables	Consumo (P1) 434 kW	434 x 0,044 €/kWh	19,11
	21% IVA	0,21 x (CP + A + P1)	8,09
TOTAL FACTURA (€)			46,61

Tabla 14. Factura resumen marzo 2019. (Fuente: Elaboración propia).

Periodo de facturación		03/04/2018 al 02/05/2018	
Tipo coste	Concepto	Cálculos	Importe (€)
Costes fijos	Coste potencia contratada (CP)	5,75 kW x 30 días x 38,043 €/kW año	17,98
	Alquiler equipos medida (A)	0,026 € x 30 días	0,8
Costes variables	Consumo (P1) 386 kW	386 x 0,044 €/kWh	16,99
	21% IVA	0,21 x (CP + A + P1)	7,51
TOTAL FACTURA (€)			43,29

Tabla 15. Factura resumen abril 2019. (Fuente: Elaboración propia).

ANEXO II. CÁLCULOS INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA

1 CÁLCULO DEMANDA DE AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS)

Para calcular la demanda de agua caliente sanitaria a 60°C $D_{ACS}(60^{\circ}C)$ se ha seguido lo indicado en el Documento Básico de Ahorro de Energía en el apartado Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria (DB-HE4) del Código Técnico de la Edificación (CTE). Según lo explicado en la memoria de este trabajo fin de grado se debe acudir a la tabla 4.1 tabla que se refleja como ilustración 36 de este Anexo. En función del uso de la edificación en este caso vivienda se obtiene de la tabla el siguiente consumo unitario:

Criterio de demanda	Litros/día·unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Ilustración 36. Demanda de referencia a 60°C (Fuente: [18]).

Consumo unitario= 28 litros/día x persona (60°C)

A continuación, se debe acudir a la Tabla 4.2 recogida en el mismo documento, para obtener el valor de ocupación residencial de la vivienda.

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Ilustración 37. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado (Fuente: [18]).

Como la vivienda consta de 6 dormitorios (3 en la planta superior y 3 en la inferior) se obtiene un valor de ocupación residencial de:

Número de personas = 6 personas

Por lo tanto, con estos dos datos se acude a la ecuación 1 reflejada en la memoria y sustituyéndolos se obtiene la demanda de ACS a 60°C:

$$\text{Demanda ACS (60°C)} = 28 \left(\frac{l}{\text{día persona}} \right) \cdot 6 \text{ personas} = 168 \left(\frac{l}{\text{día}} \right) \quad (\text{ec. 1})$$

Demanda ACS (60°C) = 168 litros/día

Este valor debe ser corregido aplicándole el factor de centralización, para ello se acude a la tabla 4.3 del CTE.

Nº viviendas	N≤3	4≤N≤10	11≤N≤20	21≤N≤50	51≤N≤75	76≤N≤100	N≥101
Factor de centralización	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

Ilustración 38. Valor del factor de centralización (Fuente: [18]).

Como el número de viviendas es 1 al ser una vivienda unifamiliar se obtiene un factor de centralización unitario, es decir no afecta al valor previo.

Por lo tanto, la demanda de agua caliente sanitaria a 60°C es:

Demanda ACS (60°C) = 168 litros/día

2 CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

Una vez calculado el consumo diario de ACS a 60°C es posible corregir esta demanda si se desea obtener la demanda de ACS a otra temperatura, para ello se acude a la ecuación 3 de la memoria:

$$D_{(T)} = D_{(60)} \cdot \frac{60 - T_{AFM}}{T - T_{AFM}} \quad (\text{ec. 3})$$

Aquí se tendría que calcular la temperatura del agua fría del municipio acudiendo a la ecuación 4 de la memoria:

$$T_{AFM} = T_{AFC} - B \cdot \Delta z \quad (\text{ec. 4})$$

En la que sustituyendo la diferencia de cotas entre el municipio y la capital de provincia:

$$z_{Matienzo} = 174m ; z_{Santander} = 16m$$

así como la temperatura del agua fría de red obtenida de la ilustración 39 daría una T_{AFM} para cada mes, sustituyendo por ejemplo para el mes de Enero:

$$T_{AFM} = 10 - 0,0066 \cdot (174 - 16) = 8,96^{\circ}\text{C} \quad (\text{ec. 4})$$

Las temperaturas para el resto de meses están recogidas en la Tabla 16

Capital de provincia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
A Coruña	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11
Albacete	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7
Alicante/Alacant	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12
Almería	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12
Ávila	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Badajoz	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9
Barcelona	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10
Bilbao/Bilbo	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10
Burgos	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6
Cáceres	9	10	11	12	14	18	21	20	19	15	11	9
Cádiz	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12
Castellón/Castelló	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11
Ceuta	11	11	12	13	14	16	18	18	17	15	13	12
Ciudad Real	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7
Córdoba	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10
Cuenca	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Girona	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9
Granada	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8
Guadalajara	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7
Huelva	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12
Huesca	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7
Jaén	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9
Las Palmas de Gran Canaria	15	15	16	16	17	18	19	19	19	18	17	16
León	6	6	8	9	12	14	16	16	15	11	8	6
Lleida	7	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	7
Logroño	7	8	10	11	13	16	18	18	16	13	10	8
Lugo	7	8	9	10	11	13	15	15	14	12	9	8
Madrid	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8
Málaga	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12
Melilla	12	13	13	14	16	18	20	20	19	17	14	13
Murcia	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Ourense	8	10	11	12	14	16	18	18	17	13	11	9
Oviedo	9	9	10	10	12	14	15	16	15	13	10	9
Palencia	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	9	6
Palma de Mallorca	11	11	12	13	15	18	20	20	19	17	14	12
Pamplona/Iruña	7	8	9	10	12	15	17	17	16	13	9	7
Pontevedra	10	11	11	13	14	16	17	17	16	14	12	10
Salamanca	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	8	6
San Sebastián	9	9	10	11	12	14	16	16	15	14	11	9
Santa Cruz de Tenerife	15	15	16	16	17	18	20	20	20	18	17	16
Santander	10	10	11	11	13	15	16	16	16	14	12	10
Segovia	6	7	8	10	12	15	18	18	15	12	8	6
Sevilla	11	11	13	14	16	19	21	21	20	16	13	11
Soria	5	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Tarragona	10	11	12	14	16	18	20	20	19	16	12	11
Teruel	6	7	8	10	12	15	18	17	15	12	8	6
Toledo	8	9	11	12	15	18	21	20	18	14	11	8
Valencia	10	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Valladolid	6	8	9	10	12	15	18	18	16	12	9	7
Vitoria-Gasteiz	7	7	8	10	12	14	16	16	14	12	8	7
Zamora	6	8	9	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Zaragoza	8	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	8

Ilustración 39. Temperatura media mensual de agua de red (°C). (Fuente: [18]).

Una vez calculado esto se podría calcular ya la demanda de ACS corregida para 45°C en valores mensuales sustituyendo en la ecuación 3. Por ejemplo, si se sustituye para el mes de Enero:

$$D_{(45)} = 168 \cdot \frac{60 - 8,96}{45 - 8,96} = 237,92 \text{ l/día} \quad (\text{ec. 3})$$

La demanda para el resto de meses se recoge en la Tabla 16.

A continuación, se calcula la demanda energética por mes aplicando la ecuación 5 de la memoria, donde se sustituirá los datos que se acaban de obtener:

$$Q = \frac{\left[4184 \cdot 237,92 \cdot 31 \cdot \frac{1}{3600} \cdot (45 - 8,96)(^{\circ}\text{C}) \right]}{1000} = 300,02 \text{ kWh} \quad (\text{ec. 5})$$

La demanda para el resto de meses se recoge en la Tabla 16 que aparece a continuación:

Nº días	Mes	Tª A.F. Santander (°C)	Tª A.F. Matienzo (°C)	Demanda 45°C (l/día)	Demanda Energética Q (kWh)
31	ENERO	10	8,96	237,92	308,95
28	FEBRERO	10	8,96	237,92	279,06
31	MARZO	11	9,96	239,91	302,90
30	ABRIL	11	10,48	241,00	290,08
31	MAYO	13	12,48	245,49	287,64
30	JUNIO	15	14,48	250,57	266,65
31	JULIO	16	15,48	253,36	269,48
31	AGOSTO	16	15,48	253,36	269,48
30	SEPTIEMBRE	16	15,48	253,36	260,79
31	OCTUBRE	14	12,96	246,64	284,74
30	NOVIEMBRE	12	10,96	242,02	287,27
31	DICIEMBRE	10	8,96	237,92	308,95
				TOTAL	3416,00

Tabla 16. Cálculo demanda energética. (Fuente: Elaboración propia)

3 CÁLCULO DE LA SUPERFICIE DE CAPTACIÓN

Para calcular el área de captación necesaria para cubrir el tanto por ciento exigido por el CTE como contribución mínima, un 30% en este caso al estar en zona I (calculado en la memoria), se deberá siguiendo el tercer método de los nombrados calcular la energía que se es capaz de captar del sol a través de la ecuación 11.

$$E = c \cdot K \cdot a \cdot H \left(\text{kWh}/\text{m}^2 \right) \quad (\text{ec. 11})$$

Para ello se necesita calcular los parámetros c , K , a y la Irradiación solar sobre plano horizontal mensual H de la siguiente manera:

- Parámetro c: el cual se obtiene de la ecuación 12, ya que la vivienda está orientada al sur, por tanto, el ángulo de orientación es menor de 20°.

$$\theta < 20^\circ \rightarrow c = 0.94 \quad (\text{ec. 12})$$

- Parámetro K: lo obtenemos de la ilustración 40, en función de la latitud a la que se encuentra el municipio y en función de la inclinación dada a los captadores. Siguiendo lo indicado en el CTE para la vivienda la inclinación óptima sería la latitud, como su valor está más próximo a 45° elegimos este valor como inclinación de los captadores, por lo tanto, el valor del parámetro K para los distintos meses sería:

LATITUD = 43°												
Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1,08	1,07	1,05	1,03	1,02	1,02	1,02	1,04	1,06	1,08	1,1	1,09
10	1,15	1,12	1,09	1,06	1,04	1,03	1,04	1,07	1,11	1,16	1,19	1,18
15	1,22	1,18	1,13	1,08	1,05	1,03	1,05	1,09	1,15	1,23	1,27	1,26
20	1,28	1,22	1,16	1,09	1,05	1,03	1,05	1,1	1,19	1,29	1,35	1,33
25	1,33	1,26	1,18	1,1	1,04	1,02	1,04	1,11	1,22	1,34	1,42	1,4
30	1,37	1,29	1,2	1,1	1,03	1	1,03	1,11	1,24	1,38	1,48	1,45
35	1,41	1,31	1,2	1,09	1,01	0,98	1,01	1,1	1,25	1,42	1,52	1,5
40	1,43	1,33	1,2	1,07	0,98	0,95	0,98	1,09	1,25	1,44	1,56	1,54
45	1,45	1,33	1,19	1,05	0,95	0,91	0,95	1,06	1,24	1,45	1,59	1,57
50	1,46	1,33	1,17	1,02	0,91	0,87	0,91	1,03	1,23	1,46	1,61	1,58
55	1,46	1,32	1,15	0,98	0,86	0,82	0,86	1	1,21	1,45	1,62	1,59
60	1,45	1,3	1,12	0,94	0,81	0,76	0,81	0,95	1,17	1,44	1,62	1,59
65	1,43	1,27	1,08	0,89	0,75	0,7	0,75	0,9	1,13	1,41	1,61	1,58
70	1,41	1,23	1,03	0,83	0,69	0,64	0,69	0,84	1,09	1,38	1,58	1,56
75	1,37	1,19	0,98	0,77	0,62	0,57	0,62	0,78	1,03	1,34	1,55	1,53
80	1,33	1,14	0,92	0,7	0,55	0,49	0,55	0,71	0,97	1,28	1,51	1,49
85	1,28	1,08	0,85	0,63	0,47	0,42	0,47	0,64	0,9	1,22	1,45	1,44
90	1,22	1,02	0,78	0,56	0,4	0,34	0,39	0,56	0,83	1,16	1,39	1,38

Ilustración 40. Factor de corrección k para superficies inclinadas (Fuente: [30]).

- Parámetro a: se obtiene de la Tabla 17. Al tratarse de una zona sin contaminación el valor de a será 1,05.

Valores de a	Contaminación de zona
0,95	Zonas con contaminación muy alta
1	Zonas con contaminación moderada
1,05	Zonas sin contaminación

Tabla 17. Valores de a según la contaminación de la zona (Fuente: Elaboración propia)

- Radiación mensual en Matienzo H, este dato se obtiene de la ilustración 41:

Monthly Solar Irradiation

PVGIS Estimates of long-term monthly averages

Location: 43°18'51" North, 3°35'0" West, Elevation: 174 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Optimal inclination angle is: 35 degrees
Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.8 %

Month	H_h	H_{opt}	$H(90)$	I_{opt}	T_{24h}	N_{DD}
Jan	1360	2140	2100	61	7.3	239
Feb	2040	2870	2530	54	6.3	223
Mar	3430	4250	3200	43	9.3	179
Apr	4070	4380	2660	27	11.4	137
May	4690	4620	2330	16	12.7	45
Jun	5030	4770	2210	10	15.4	4
Jul	5050	4890	2320	13	17.1	0
Aug	4520	4740	2640	24	17.3	1
Sep	3910	4670	3270	39	16.8	24
Oct	2670	3660	3090	51	15.0	89
Nov	1510	2280	2150	59	10.9	212
Dec	1270	2120	2160	64	8.2	236
Year	3300	3790	2550	35	12.3	1389

H_h : Irradiation on horizontal plane (Wh/m²/day)
 H_{opt} : Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m²/day)
 $H(90)$: Irradiation on plane at angle: 90deg. (Wh/m²/day)
 I_{opt} : Optimal inclination (deg.)

Ilustración 41. Radiación solar global media anual en el municipio (Fuente: [16]).

Una vez calculado esto ya se puede calcular sustituyendo en la ecuación 11 la energía que se puede captar del sol. Esta energía tendrá un valor para cada mes

del año. A continuación, se muestran a modo de ejemplo los resultados obtenidos para el mes de enero:

$$E = 0,94 \cdot 1,45 \cdot 1,05 \cdot 1,36 = 1,95 \left(kWh/m^2 \right) \quad (\text{ec. 11})$$

El cálculo para el resto de meses está recogido en la Tabla 18. Este cálculo será la energía que se puede captar del sol pero no toda esta energía se puede transformar en energía térmica, debido al rendimiento del captador, la temperatura ambiente exterior o la irradiación entre otros parámetros. La energía térmica real que el sistema va a ser capaz de aprovechar la se va a calcular de la siguiente manera:

El primer factor importante es el rendimiento óptico, que se calcula con la ecuación 14:

$$\eta = \eta_{op real} - m \cdot \frac{t_m - t_a}{I} \quad (\text{ec. 14})$$

Antes de poder hacer esto se debe obtener la irradiancia en el municipio con la ecuación 15:

$$I \left(\frac{W}{m^2} \right) = \frac{E \left(kWh/m^2 \right)}{n^a \text{ horas de Sol}} \cdot 1000 \quad (\text{ec. 15})$$

Para la aplicación de esta ecuación primero hay que conocer las horas de sol de cada mes en el municipio. En la ilustración 42 se recoge como ejemplo el mes de marzo, pero esto debe hacerse con todos los meses del año. Los valores para el resto de los meses están recogidos en la Tabla 18.

Mon 2019/02/25:	07:56	11:01 of daylight	18:58
Tue 2019/02/26:	07:54	11:04 of daylight	18:59
Wed 2019/02/27:	07:53	11:07 of daylight	19:00
Thu 2019/02/28:	07:51	11:10 of daylight	19:01
Fri 2019/03/01:	07:50	11:13 of daylight	19:03
Sat 2019/03/02:	07:48	11:16 of daylight	19:04
Sun 2019/03/03:	07:46	11:19 of daylight	19:05
Mon 2019/03/04:	07:44	11:22 of daylight	19:06
Tue 2019/03/05:	07:43	11:24 of daylight	19:08
Wed 2019/03/06:	07:41	11:27 of daylight	19:09
Thu 2019/03/07:	07:39	11:30 of daylight	19:10
Fri 2019/03/08:	07:38	11:33 of daylight	19:11
Sat 2019/03/09:	07:36	11:36 of daylight	19:13
Sun 2019/03/10:	07:34	11:39 of daylight	19:14
Mon 2019/03/11:	07:32	11:42 of daylight	19:15
Tue 2019/03/12:	07:31	11:45 of daylight	19:16
Wed 2019/03/13:	07:29	11:48 of daylight	19:18
Thu 2019/03/14:	07:27	11:51 of daylight	19:19
Fri 2019/03/15:	07:25	11:54 of daylight	19:20
Sat 2019/03/16:	07:24	11:57 of daylight	19:21
Sun 2019/03/17:	07:22	12:00 of daylight	19:22
Mon 2019/03/18:	07:20	12:03 of daylight	19:24
Tue 2019/03/19:	07:18	12:06 of daylight	19:25
Wed 2019/03/20:	07:16	12:09 of daylight	19:26
Thu 2019/03/21:	07:15	12:12 of daylight	19:27
Fri 2019/03/22:	07:13	12:15 of daylight	19:28
Sat 2019/03/23:	07:11	12:18 of daylight	19:30
Sun 2019/03/24:	07:09	12:21 of daylight	19:31
Mon 2019/03/25:	07:08	12:24 of daylight	19:32
Tue 2019/03/26:	07:06	12:27 of daylight	19:33
Wed 2019/03/27:	07:04	12:30 of daylight	19:34
Thu 2019/03/28:	07:02	12:33 of daylight	19:36
Fri 2019/03/29:	07:00	12:36 of daylight	19:37
Sat 2019/03/30:	06:59	12:39 of daylight	19:38
Sun 2019/03/31:	07:57	12:42 of daylight	20:39
Mon 2019/04/01:	07:55	12:45 of daylight	20:40

Ilustración 42. Media de horas de luz el día 15 de marzo (Fuente: [65]).

Una vez obtenidas las horas de sol se podría calcular la irradiancia y por tanto el rendimiento óptico. A continuación, se muestra como ejemplo el cálculo realizado para el mes de febrero, los resultados obtenidos para el resto de meses se recogen en la Tabla 18.

$$I = \frac{2.68}{10} \cdot 1000 = 268 \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (\text{ec. 15})$$

Antes de calcular el rendimiento hay que calcular el rendimiento óptico real con la ecuación 16:

$$n_{op\ real} = 0,8 \cdot 0,9 = 0,72 \quad (\text{ec. 16})$$

Una vez hecho esto se calcula el rendimiento sustituyendo los datos obtenidos anteriormente, así como las características del modelo de captador extraídas de su ficha técnica, como ejemplo se calculará el mes de febrero:

$$\eta = 0,72 - 2,44 \cdot \frac{45 - 9,42}{267,65} = 0,39 \quad (\text{ec. 14})$$

Con esto se podría calcular finalmente la energía que se puede transformar en energía térmica transferida al agua en valores mensuales como el producto entre este rendimiento óptico, las pérdidas en acumulación y transporte, los días del mes y la energía que se puede captar del sol. La suma de todos estos meses daría la energía térmica que se aprovecha anualmente. Estos datos están recogidos en la siguiente Tabla 18:

Nº días	Mes	Hh (kWh/m² day)	K	E. Captada Sol (kWh/m² día)	Tº Amb Santander	Tº Amb Matienzo	I (W/m²)	Nº horas sol	Rendimiento	Energía Térmica (kWh/mes)
31	ENERO	1,36	1,45	1,95	11	9,42	216,18	9	0,317	16,24
28	FEBRERO	2,04	1,33	2,68	11	9,42	267,65	10	0,394	25,10
31	MARZO	3,43	1,19	4,03	14	12,42	365,94	11	0,501	53,18
30	ABRIL	4,07	1,05	4,22	14	13,21	324,35	13	0,479	51,53
31	MAYO	4,69	0,95	4,40	16	15,21	313,96	14	0,487	56,39
30	JUNIO	5,03	0,91	4,52	19	18,21	301,11	15	0,501	57,73
31	JULIO	5,05	0,95	4,74	21	20,21	315,66	15	0,527	65,70
31	AGOSTO	4,52	1,06	4,73	21	20,21	363,50	13	0,552	68,76
30	SEPTIEMBRE	3,91	1,24	4,79	20	19,21	398,61	12	0,560	68,38
31	OCTUBRE	2,67	1,45	3,82	17	15,42	347,36	11	0,510	51,39
30	NOVIEMBRE	1,51	1,59	2,37	14	12,42	263,09	9	0,416	25,14
31	DICIEMBRE	1,27	1,57	1,97	12	10,42	245,70	8	0,375	19,44
TOTAL Anual										558,97

Tabla 18. Energía térmica aprovechada del sol por mes (Fuente: Elaboración propia).

Con esta energía anual y la demanda térmica obtenida anteriormente aplicándole el 30% que se tendría que cubrir según el CTE al estar ubicados en Zona I se calcula la superficie necesaria de captación con la ecuación 17:

$$\text{Área captación necesaria} = \frac{3407,06 \cdot 0,3}{558,97} = 1,83 \text{ m}^2 \quad (\text{ec. 17})$$

4 CÁLCULO DEL NÚMERO DE CAPTADORES SOLARES

Una vez calculada la superficie de captación necesaria y sabiendo que el modelo de captador que se ha elegido tiene una superficie de $2,33 \text{ m}^2$ según su ficha técnica, lo cual se calcula con la ecuación 18:

$$N^{\circ} \text{ de captadores} = \frac{1,83}{2,33} = 0,81 \approx 1 \text{ Captador solar} \quad (\text{ec. 18})$$

El cálculo da un número de captadores de 0,81 por tanto con 1 captador estaría cubierta la superficie necesaria.

5 ESTUDIO COMPARATIVO DEL MODELO DE CAPTADORES

El número de captadores a colocar se ve influenciado enormemente por las características del mismo. En función del captador seleccionado se tienen distintos valores de rendimiento óptico, pérdidas o superficie. Por esta razón, en este trabajo se ha realizado un estudio comparativo desde un punto de vista técnico y económico en el que se han valorado 3 modelos diferentes de captadores. Las características principales de los 3 captadores son las siguientes:

- Heatsun PSV25
 - Área de absorción: $2,33 \text{ m}^2$
 - Rendimiento (η_0): 0,77
 - Perdidas (K_1): $3,662 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - Perdidas (K_2): $0,016 \text{ W/m}^2\text{K}^2$
 - Precio: 655 €
- Saunier Duval SRV 2.3
 - Área de absorción: $2,33 \text{ m}^2$
 - Rendimiento (η_0): 0,798
 - Perdidas (K_1): $2,44 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - Perdidas (K_2): $0,050 \text{ W/m}^2\text{K}^2$

- Precio: 605 €
- Termicol T25US
 - Área de absorción: $2,4 \text{ m}^2$
 - Rendimiento (η_0): 0,79
 - Perdidas (K_1): $3,49 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - Perdidas (K_2): $0,018 \text{ W/m}^2\text{K}^2$
 - Precio: 675 €

Se va a comenzar por definir el rango de trabajo en temperaturas. Calculado en función de la diferencia de temperaturas entre la temperatura del captador y la del ambiente en el municipio, entre la irradiancia, $(T_m - T_a)/I$. Estos cálculos se muestran en las Tablas 19 y 20:

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Tª Ambiente (°C)	9,42	9,42	12,42	13,21	15,21	18,21
Tª Entrada agua (°C)	8,96	8,96	9,96	10,48	12,48	14,48
$\Delta T (T_m - T_{amb})$	35,58	35,58	32,58	31,79	29,79	26,79
$(T_m - T_a)/I$	0,16	0,13	0,09	0,10	0,09	0,09

Tabla 19. Variación de la temperatura en el rango de trabajo (enero a junio) (Fuente: Elaboración propia).

Meses	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Tª Ambiente (°C)	20,21	20,21	19,21	15,42	12,42	10,42
Tª Entrada agua (°C)	15,48	15,48	15,48	12,96	10,96	8,96
$\Delta T (T_m - T_{amb})$	24,79	24,79	25,79	29,58	32,58	34,58
$(T_m - T_a)/I$	0,056	0,048	0,046	0,061	0,088	0,098

Tabla 20. Variación de la temperatura en el rango de trabajo (julio a agosto) (Fuente: Elaboración propia).

Una vez calculado se observa que el rango varía desde 0,06 hasta $0,16 \text{ } ^\circ\text{C m}^2/\text{W}$. Comparando la variación del rendimiento experimentada por cada modelo de captador en función de esta variable calculada anteriormente, se observa en la ilustración 43 que el que menor variación de rendimiento sufre en las condiciones del estudio según va aumentando el valor de la relación $(T_m - T_a)/I$ es el captador SRV 2.3 del fabricante Saunier Duval.

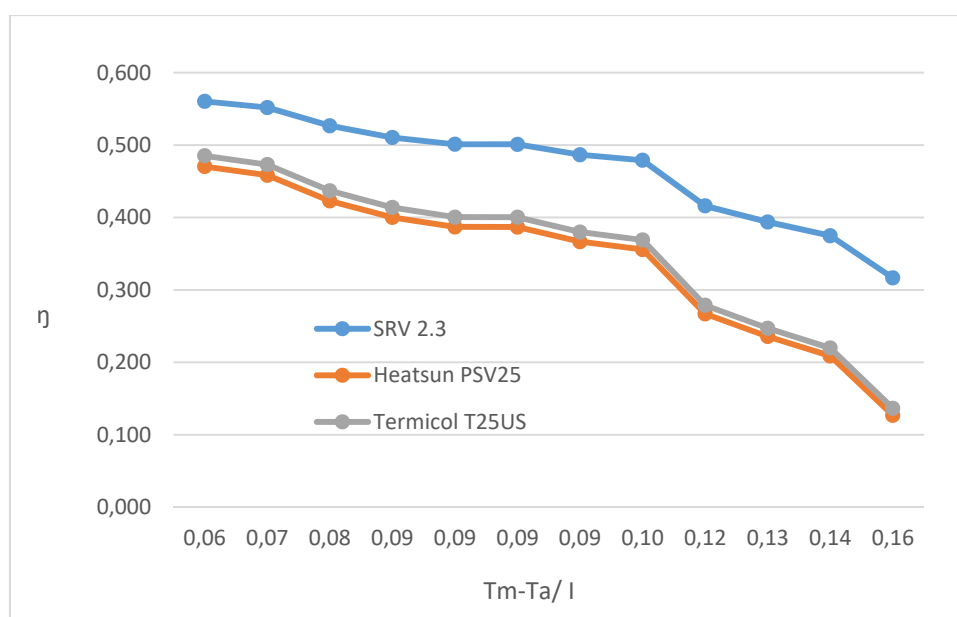


Ilustración 43. Rendimiento de los captadores (Fuente: Elaboración propia).

Por otro lado, al realizar los cálculos de la superficie de absorción necesaria y por tanto el número de captadores necesarios con cada uno de los 3 captadores a estudiar se ha obtenido que para el modelo Heatsun PSV 25 la superficie necesaria sería de $2,43 \text{ m}^2$ necesitándose 2 captadores para cubrir la demanda ya que tiene una superficie de $2,33 \text{ m}^2$ por captador. Para el segundo captador el modelo Saunier Duval SRV 2.3 la superficie necesaria sería de $1,83 \text{ m}^2$ por lo tanto con un captador sería suficiente, ya que cada captador dispone de $2,33 \text{ m}^2$ de superficie. Y para el tercer captador, el Termicol T25US la superficie necesaria sería $2,34 \text{ m}^2$ por lo que con un captador sería suficiente ya que cada uno cuenta con $2,4 \text{ m}^2$ de superficie. Por lo tanto, se descartaría el primer modelo analizado y quedando el segundo y el tercer modelo, siendo mejor opción el segundo modelo de captador, ya que permite obtener los rendimientos más altos. Este aspecto se ha visto reflejado cuando se han calculado los rendimientos que aporta cada uno de ellos mensualmente. Si se comparan los rendimientos obtenidos para el mes de septiembre (mes en el que se han obtenido los mejores resultados), los valores reales de rendimiento obtenidos para cada captador han sido 0,47, 0,56 y 0,49 puede comprobarse que el que mejor rendimiento aporta de los 3 sería el captador SRV 2.3 de la marca Saunier Duval y que además es el más barato de los 3

modelos estudiados con un precio de 605€ por unidad, teniendo los otros 2 modelos un valor de 655€ el PSV25 y de 675€ el T25US.

Por lo tanto, según los resultados obtenidos del estudio comparativo realizado basado tanto en la variación del rendimiento en función de las condiciones ambientales, como en el número de captadores necesario, así como en la inversión inicial a realizar, el captador que mejor se adapta a las necesidades es el Saunier Duval SRV 2.3, cuya ficha técnica se puede consultar en el "Anexo V".

6 CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR LA DISPOSICIÓN GEOMÉTRICA DE LOS CAPTADORES

Como se ha explicado en la memoria de este proyecto, las únicas pérdidas por las que se ven afectados son las debidas a la orientación e inclinación de los captadores.

Se va a proceder al cálculo de estas para asegurar que se cumplen los límites establecidos en el CTE (ilustración 44) para el caso general que es en el que se encuentran:

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Ilustración 44. Pérdidas límite (Fuente: [18]).

Los captadores irán orientados hacia el sur ya que la vivienda tiene orientación sur y de esta forma se consigue que las pérdidas por orientación sean nulas con un ángulo de azimut de 0°.

Por otro lado, como bien se ha indicado en la memoria de este trabajo "Apartado 9.1.1" la coordenada de la latitud es de 43° así pues el ángulo de inclinación será $\beta=43$.

Con estos datos se procede a la verificación de las pérdidas por inclinación mediante el método grafico de la ilustración 45.

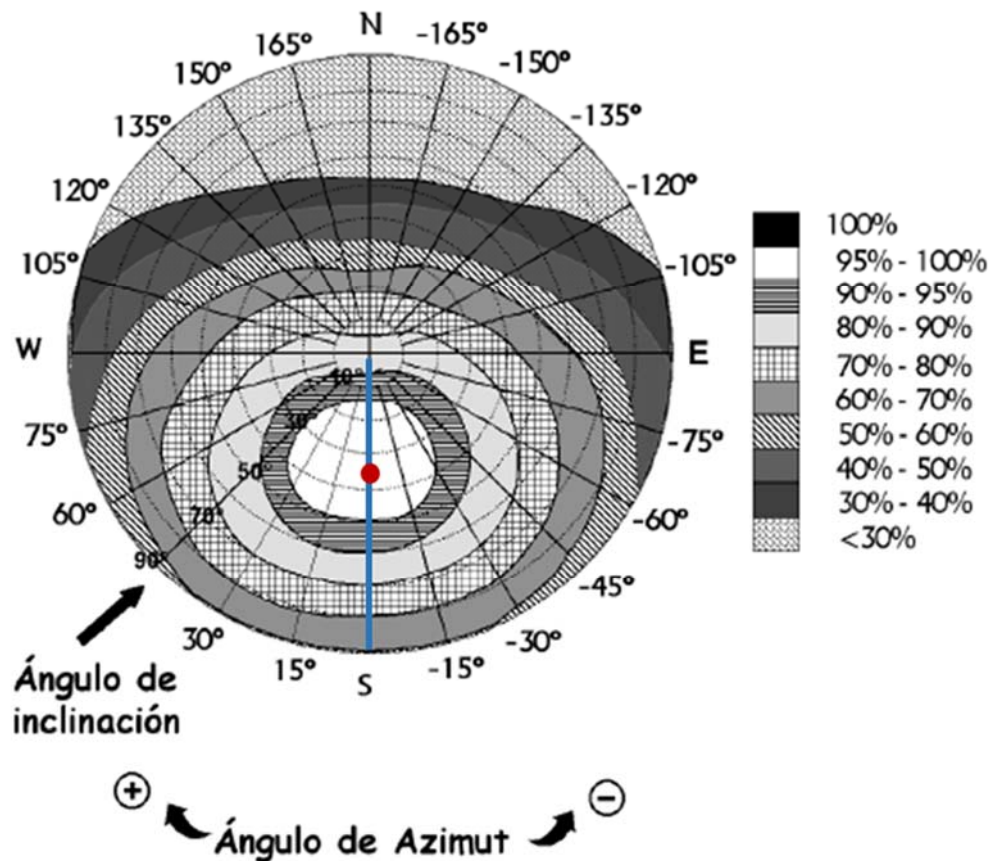


Ilustración 45. Método gráfico de pérdidas de orientación e inclinación (Fuente: [30]).

Se traza una línea recta (recta azul) con el ángulo de azimut correspondiente, es decir 0 grados. Después con la inclinación es decir 43° se buscará dónde estaría esa inclinación en la recta del ángulo de inclinación y se seguirá la curva hasta que corte la recta de azimut (recta azul). Se comprobará en que zona se halla el punto de corte (punto rojo).

El punto de corte se halla dentro de la zona blanca por lo que la instalación está dentro de un límite de pérdidas de entre el 0 y el 5%, cumpliendo por tanto con el límite de un 10% de pérdidas de orientación e inclinación que establece el CTE para el caso general. Por lo que la inclinación de 43° es válida.

7 CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE

Al colocar la estructura soporte se necesita poner unas zapatas de hormigón para hacer de contrapesos frente a la fuerza del viento, según lo explicado en la memoria.

Para calcular el volumen de estas zapatas, lo primero es conocer la fuerza que ejerce el viento sobre los captadores con la ecuación 24. Se toma como velocidad del viento de referencia 29 m/s o 104,4 Km/h, que convertida a unidades de presión frontal de viento es 693,33 N/m². A su vez se conocen la superficie e inclinación del captador utilizado, 2,33 m² y 43° respectivamente.

$$f = 70,64 \cdot 2,33 \cdot \text{sen } 43 = 112,25 \text{ kp} \quad (\text{ec. 24})$$

$$f = 693,33 \cdot 2,33 \cdot \text{sen } 43 = 945,7 \text{ N} \quad (\text{ec. 24})$$

Una vez obtenida esta fuerza se puede calcular el volumen necesario para la zapata de hormigón con la ecuación 25:

$$V_z = \frac{112,25}{2200} = 51 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \quad (\text{ec. 25})$$

Por lo tanto se necesitará una zapata de hormigón para utilizarla como contrapeso de $51 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$.

8 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL INTERCAMBIADOR DE PLACAS

Según las exigencias establecidas en el Código Técnico de la Edificación (CTE) así como las recomendaciones incluidas en el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura (IDAE & CENSOLAR) la potencia del intercambiador de placas que se va a utilizar en esta instalación debe cumplir la ecuación 26, sabiendo que la superficie mínima de captación son 1,83 m² calculada en el apartado 3 de este anexo:

$$P(W) = 500 \cdot 1,83 = 915 \text{ W} = 0,915 \text{ kW} \quad (\text{ec. 26})$$

Por lo tanto, el intercambiador debe de tener una potencia superior a 0,915 kW.

9 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN Y VISCOSIDAD DEL FLUIDO CALOPORTADOR

Para evitar que el fluido caloportador que circula por el circuito primario se congele se debe añadir una concentración de fluido anticongelante. La concentración a añadir se calcula empleando la ilustración 46, donde se introduce la temperatura mínima histórica del municipio -6,1 °C más un margen de seguridad de -5 grados por tanto se introduce -11,1°C.

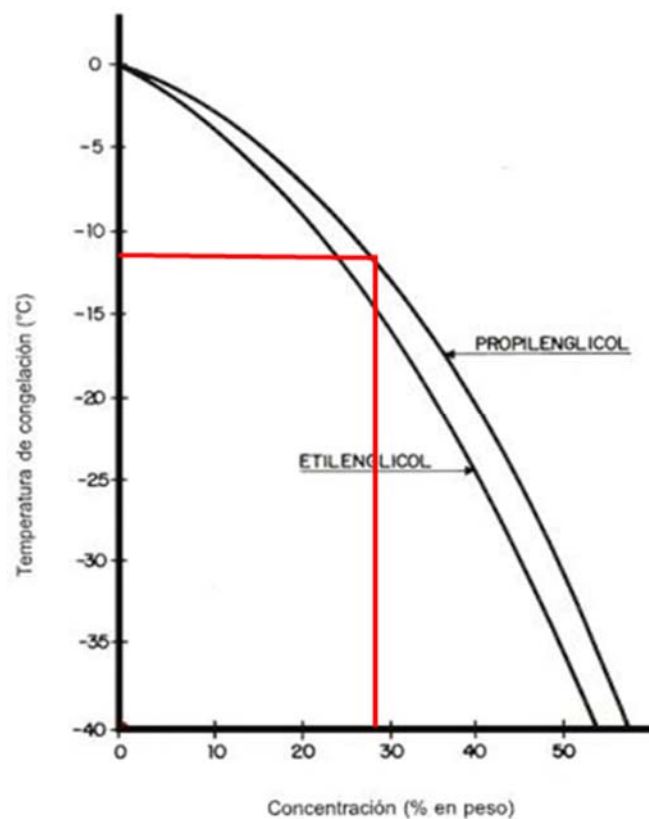


Ilustración 46. Concentración en peso de fluido anticongelante (Fuente: [66]).

Para la temperatura de congelación de $-11,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ se obtiene una concentración en peso de propilenglicol del 28%.

Una vez obtenida la concentración de 28% y con la temperatura de trabajo a 45°C más los 10°C del salto térmico se calcula la viscosidad gráficamente en la ilustración 47:

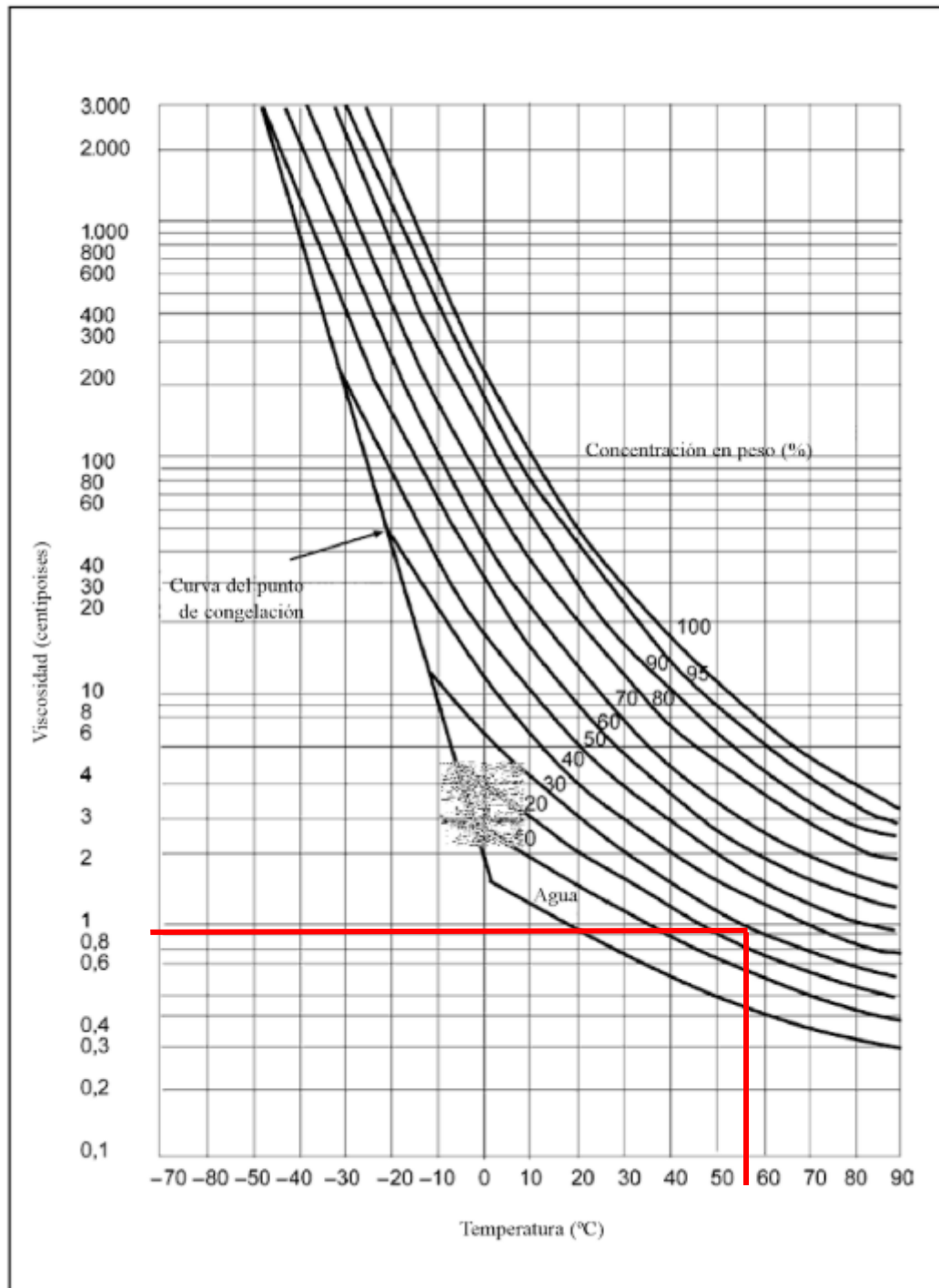


Ilustración 47. Curvas de la concentración de propilenglicol en función de la viscosidad (Fuente: [67]).

Obteniendo una viscosidad de 0,9 cp para la concentración y temperatura anteriormente nombradas.

Una vez obtenida la viscosidad de la mezcla y conociendo que la del agua a 55°C es 0,504 cp se calcula el factor corrector con la ecuación 27:

$$k = \sqrt[4]{\frac{0,9}{0,467}} = 1,16 \quad (\text{ec.27})$$

10 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LAS TUBERÍAS DEL CIRCUITO PRIMARIO

Se va a proceder a calcular el diámetro de las tuberías en función del caudal que circula por ellas, como se expresa en la memoria en este circuito primario todas las tuberías son del mismo diámetro ya que por todas circula el caudal total.

El captador seleccionado admite un caudal máximo de 40 l/h o lo que es lo mismo 0,04 m³/h.

Primero con la ecuación 28 se calcula una estimación del diámetro interior de la tubería:

$$D = 2,2 \cdot 0,04^{0.35} = 0,71 \text{ cm} \quad (\text{ec. 28})$$

A continuación, con este diámetro se obtiene la velocidad con la ecuación 29:

$$v = \frac{4 \cdot 1,1 \cdot 10^{-5}}{\pi \cdot (7,1 \cdot 10^{-3})^2} = 0,278 \text{ m/s} \quad (\text{ec. 29})$$

Y con el valor la velocidad, que cumple lo establecido por el IDAE siendo menos de 1 m/s y el caudal en m³/h se acude a la ilustración 48 y se ve si se cumple lo establecido para las pérdidas de carga:

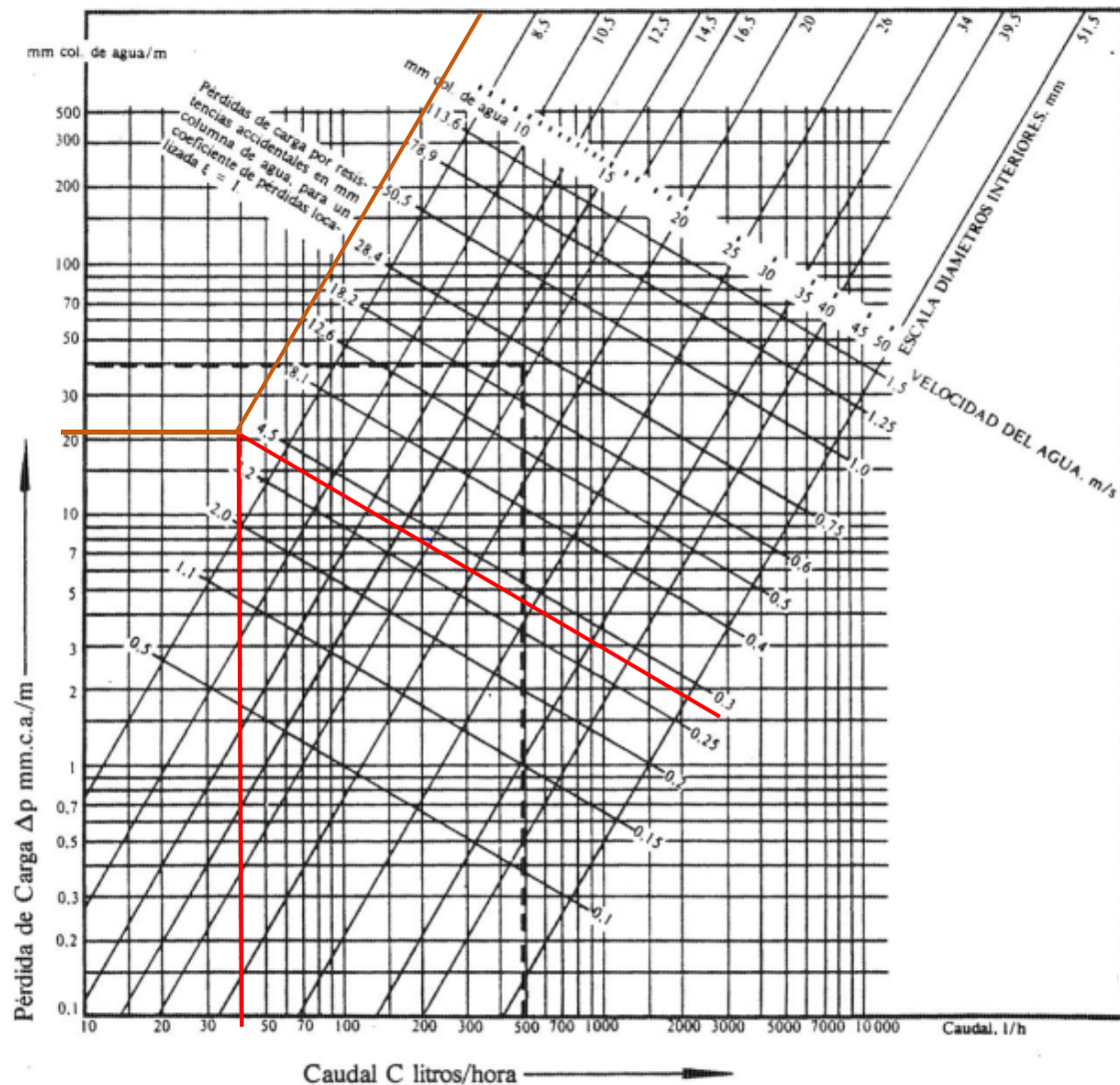


Ilustración 48. Pérdidas por rozamiento en (mm.c.a./m) para tuberías de cobre (Fuente: [67]).

Según se puede comprobar gráficamente se obtendrían unas pérdidas de 22 mm.c.a siendo menores de 40 por lo que se cumpliría el máximo establecido sirviendo este dimensionado.

Pero se encuentra con el problema de que este diámetro no es un diámetro normalizado, por lo que se tiene que acudir a la tabla de diámetros normalizados según la norma UNE-EN 1057 ilustración 49 de tubería de cobre y se escoge el diámetro interior inmediatamente superior a 7,1 mm con 1 mm de espesor de pared.

	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
	Diámetro interior en mm											
6		4,8		4,4		4						
8		5,8		6,4		6						
10		6,8	6,6	8,4		8						
12		10,8	10,6	10,4		10						
14				12,4		12						
15			13,6	13,4		13						
16						14						
18				16,4		16						
22					20,2	20	19,8	19,6	19			
28					26,2	26		25,6	25			
35						33		32,6	32			
40						38						
42						40		39,6	39			
54						52		51,6	51	50		
64										60		
66,7								64,3		62,7		
76,1									73,1	72,1		
88,9										84,9		
108									105		103	

Ilustración 49. Diámetros estándar para tuberías de cobre según norma UNE (Fuente: [68]).

En este caso el diámetro normalizado para la tubería de cobre será el de 10 mm de diámetro exterior con una pared de 1mm.

$$D_{extQ} = 10mm$$

11 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE AISLAMIENTO DE LAS TUBERÍAS DEL CIRCUITO PRIMARIO

Para calcular el espesor del aislamiento mínimo se debe acudir al Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE como se ha expresado en la memoria y acudir a la ilustración 50 que relaciona la temperatura máxima del fluido que circula por la tubería y el diámetro exterior de la propia tubería con el diámetro mínimo de aislamiento.

Fluido interior caliente			
Diámetro exterior (mm) (*)	Temperatura del fluido (°C) (**)		
	40 a 60	61 a 100	101 a 180
$D \leq 35$	25	25	30
$35 < D \leq 60$	30	30	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40
$90 < D \leq 140$	30	40	50
$140 < D$	35	40	50

Ilustración 50. Espesores mínimos de aislantes (Fuente: [30]).

Con la temperatura de trabajo de 45°C más los 10°C del salto térmico se obtiene la temperatura máxima a la que se someterá el fluido en el interior de la tubería, 55°C en este caso. Y teniendo en cuenta que el diámetro de las tuberías del circuito primario es 10 mm por lo tanto menor de 35 mm, el espesor mínimo de aislamiento obtenido según la tabla será de 25 mm.

Sin embargo, la normativa dice que para tuberías que circulen por el exterior hay que sumarles 10 mm a los valores obtenidos.

Por tanto, se utilizara un aislante de 25 mm de espesor para los tramos que circulen por el interior y otro de 35 mm para los tramos que circulen por el exterior.

Este cálculo solo es válido para aquellos aislantes que tienen una conductividad de 0,040 W/m·K, por ello se ha elegido un aislamiento de tubos de espuma elastómera de la marca Armaflex.

12 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA DEL CIRCUITO PRIMARIO

Para el cálculo de las pérdidas de carga en el circuito primario, se va a hacer un desglose en pérdidas de carga en las tuberías o pérdidas lineales y en pérdidas singulares o pérdidas en accesorios, captadores e intercambiador. Para después sumándolas calcular el total de todas ellas con la ecuación 60.

$$P_{tot} = P_{tub} + P_{acc} + P_{cap} + P_{int} + CS \quad (\text{ec. 60})$$

12.1 Pérdidas de carga en las tuberías

Para el cálculo de estas pérdidas recogidas en la siguiente Tabla 21, se ha utilizado la ecuación 31 de la memoria, las longitudes se pueden ver en el "Documento 3. Plano 7".

Tramo	Q (l/h)	D _{int} (mm)	D _{ext} (mm)	v (m/s)	P tub. unit. (mm.c.a./m)	P tub. unit. Corregida (mm.c.a./m)	L (m)	P tub. (m.c.a.)
A - B	40	8	10	0,22	12,34	14,54	16	0,233
B - C	40	8	10	0,22	12,34	14,54	1	0,015
D - E	40	8	10	0,22	12,34	14,54	1	0,015
E - F	40	8	10	0,22	12,34	14,54	15	0,218
TOTAL								0,480

Tabla 21. Pérdidas de carga lineal en las tuberías del circuito primario (Fuente: Elaboración propia).

Aunque algunos expertos de la materia recomiendan aumentar un 20 o 30% estas pérdidas para así contemplar las pérdidas singulares, aquí se van a calcular de forma individual.

12.2 Pérdidas de carga en los accesorios

El cálculo de estas pérdidas de carga se va a basar en la siguiente ilustración 51 donde se resumen las pérdidas para cada accesorio como longitud equivalente de tubería de los accesorios que producirían la misma pérdida que el accesorio. Estas pérdidas están calculadas en la Tabla 22.



Clase de resistencia aislada		Diámetros nominales de las tuberías									
		3/8 10	1/2 15	3/4 20	1 25	1 1/4 32	1 1/2 40	2 50	2 1/2 65	3 80	4 100
	manguito de unión	0,00	0,00	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,09	0,12	0,15
	cono de reducción	0,20	0,30	0,50	0,65	0,85	1,00	1,30	2,00	2,30	3,00
	codo o curva de 45°	0,20	0,34	0,43	0,47	0,56	0,70	0,83	1,00	1,18	1,25
	curva de 90°	0,18	0,33	0,45	0,60	0,84	0,96	1,27	1,48	1,54	1,97
	codo de 90°	0,38	0,50	0,63	0,76	1,01	1,32	1,71	1,94	2,01	2,21
	"te" de 45°	1,02	0,84	0,90	0,96	1,20	1,50	1,80	2,10	2,40	2,70
	"te" arqueada o de curvas ("pantalones")	1,50	1,68	1,80	1,92	2,40	3,00	3,60	4,20	4,80	5,40
	"te" confluencia de ramal (paso recto)	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
	"te" derivación a ramal	1,80	2,50	3,00	3,60	4,10	4,60	5,00	5,50	6,20	6,90
	válvula retención de batiente de pistón	0,20 1,33	0,30 1,70	0,55 2,32	0,75 2,85	1,15 3,72	1,50 4,67	1,90 5,75	2,65 6,91	3,40 8,40	4,85 11,1
	válvula retención paso de escuadra	5,10	5,40	6,50	8,50	11,50	13,0	16,5	21,0	25,0	36,0
	válvula de compuerta abierta	0,14	0,18	0,21	0,26	0,36	0,44	0,55	0,69	0,81	1,09
	válvula de paso recto y asiento inclinado	1,10	1,34	1,74	2,28	2,89	3,46	4,53	5,51	6,69	8,80
	válvula de globo	4,05	4,95	6,25	8,25	10,8	13,0	17,0	21,0	25,0	33,0
	válvula de escuadra o ángulo (abierta)	1,90	2,55	3,35	4,30	5,60	6,85	8,60	11,1	13,7	17,1
	válvula de asiento de paso recto	—	3,40	3,60	4,50	5,65	8,10	9,00	—	—	—
	intercambiador	—	—	—	2,1	5	12,5	13,2	14,2	25	—

Ilustración 51. Longitud equivalente de tubería en m para distintos accesorios (Fuente: [69]).

Tramo	Tipo accesorio	Nº acc.	Q (l/h)	Dint (mm)	Dext (mm)	P acc. unit. (mm.c.a./m)	P acc. unit. Corregida (mm.c.a./m)	L eq unit. (m)	L eq (m)	P acc. (m.c.a.)
A - B	Antiretorno de batiente	2	40	8	10	12,34	14,54	0,20	0,40	0,006
	Curva 90°	4	40	8	10	12,34	14,54	0,18	0,72	0,010
B - C	Antiretorno de batiente	1	40	8	10	12,34	14,54	0,20	0,20	0,003
	Curva 90°	2	40	8	10	12,34	14,54	0,18	0,36	0,005
D - E	Antiretorno de batiente	1	40	8	10	12,34	14,54	0,20	0,20	0,003
	Curva 90°	2	40	8	10	12,34	14,54	0,18	0,36	0,005
E - F	Antiretorno de batiente	2	40	8	10	12,34	14,54	0,20	0,40	0,006
	Curva 90°	4	40	8	10	12,34	14,54	0,18	0,72	0,010
TOTAL										0,043

Tabla 22. Pérdidas de carga en los accesorios del circuito primario (Fuente: Elaboración propia).

12.3 Pérdidas de carga en los captadores solares

El fluido anticongelante al pasar por las propias tuberías internas del captador también sufre pérdidas de carga, las cuales han sido obtenidas de la propia ficha técnica del modelo de captador solar. Se acude a la ilustración 52 para obtenerla.

Descripción de Producto

Captador solar SRV 2.3

Características Técnicas

Superficie Externa (m)	2,51
Superficie apertura (m)	2,352
Superficie absorbente (m)	2,33
Longitud (mm)	2.033
Anchura (mm)	1.233
Profundidad (mm)	80
Peso en vacío (kg)	38
Contenido líquido (L)	1,85
Tubo absorbente Cu (diam.) (mm)	15
Presión Máxima de prueba	0,4
Absorbente Cu selectivo (mm)	0,4
Factor de absorción (%)	95
Factor de emisión (%)	5
Pérdida de carga (mbar)	100
Resistencia térmica máxima (°C)	210
Presión de régimen admisible (bar)	10
Caudal recomendado (l/h)	40
Conexiones (g)	-

Ilustración 52. Características técnicas del captador (Fuente: [23]).

De la ilustración se obtienen unas pérdidas de carga de 100 mbar o lo que es lo mismo 1 m.c.a. Estas pérdidas son las establecidas para el caudal recomendado de 40 l/h del captador.

12.4 Pérdidas de carga en el intercambiador

Esta pérdida de carga viene determinada por el fabricante en la ficha técnica del modelo CBH16-13H, "Anexo V". Este valor habría que multiplicarlo por el factor de corrección ya que no es agua el fluido de trabajo. Siendo las pérdidas que aporta la ficha de 1 m.c.a que aplicándole el factor de corrección de 1,16 quedarían 1,16 m.c.a.

12.5 Pérdidas de carga totales

Por tanto, una vez calculadas las pérdidas de carga en todos los elementos del circuito primario se podrá calcular las pérdidas de carga totales mediante el sumatorio de todas ellas añadiendo un coeficiente de seguridad (CS) equivalente al 5% del total, siguiendo la ecuación 61. Así pues, las pérdidas de carga del circuito primario serán:

$$P_{tot} = 0.48 + 0.043 + 1 + 1,16 + 0.126 = 2.81 \text{ m.c.a} \quad (\text{ec. 61})$$

Conocidas las pérdidas de carga, se puede proceder a obtener el modelo de la bomba que se va utilizar.

12.6 Elección bomba circuito primario

Con las pérdidas de carga H de 2,81 m.c.a. que se acaba de calcular y el caudal recomendado de 0,04 m³/h se acude a la ilustración 53 y se selecciona la bomba

que cumpla las condiciones de funcionamiento. Escogiendo el modelo HEP Optimo Basic 20-6.0 G130 del fabricante HALM cuya referencia es 0622-34006.2.

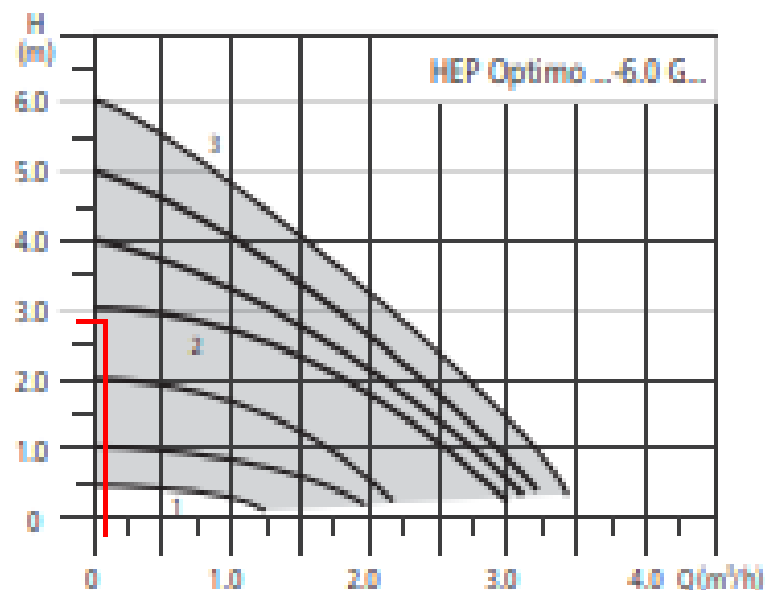


Ilustración 53. Curvas características de la bomba del circuito primario (Fuente: [70]).

13 CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL VASO DE EXPANSIÓN DEL CIRCUITO PRIMARIO

Este cálculo se va a limitar a lo que dicta la norma UNE 100155 [28].

Para comenzar se va a proceder a calcular el volumen del fluido en los captadores, en el intercambiador y en las tuberías.

13.1 Cálculo del volumen de fluido caloportador en los captadores

Este dato viene dado por el fabricante en la ficha técnica del captador, en concreto el captador utilizado en esta instalación tiene un contenido líquido de 1,85 litros de fluido. Que a su vez será el volumen total en los captadores ya que solo se tiene uno. Para obtenerlo se vuelve a la ilustración 52.

13.2 Cálculo del volumen de fluido caloportador en el intercambiador

Al igual que en el captador solar, el volumen de fluido caloportador viene dado por el fabricante en la ficha técnica del intercambiador, el modelo seleccionado tiene un volumen de 0,14 litros.

13.3 Cálculo del volumen del fluido caloportador en las tuberías

El cálculo del volumen se realizará dividiéndolo por tramos utilizando la siguiente ecuación 62:

$$V = S * L = (\pi * R^2) * L \quad (\text{ec. 62})$$

Donde:

- V: Volumen del fluido que circula por la tubería m^3 .
- S: Sección de la tubería en m^2 .
- L: Longitud del tramo de tubería en m.
- R: Radio interior de la tubería en m.

Tras aplicar esta fórmula se obtiene un volumen total de 1,66 litros, los cálculos están expresados a continuación en la tabla 23:

Tramo	Dint (mm)	L (m)	V (l)
A - B	8	16	0,80
B - C	8	1	0,05
D - E	8	1	0,05
E - F	8	15	0,75
TOTAL			1,66

Tabla 23. Volumen de fluido en el interior de las tuberías (Fuente: Elaboración propia).

Una vez obtenidos los volúmenes de fluido caloportador en los diferentes componentes del circuito primario se calculará el volumen total como la suma de todos ellos con la ecuación 63:

$$V_{tot} = 1,85 + 0,135 + 1,66 = 3,645 \text{ l} \quad (\text{ec. 63})$$

El siguiente paso será calcular la dilatación del fluido caloportador debido a que se desconoce, se calcula con la ecuación 64, con la temperatura máxima de los captadores que será de 55°C:

$$C_e = (-1,75 + 0,064 * T + 0,0036 * T^2) * 10^{-3} \quad (\text{ec. 64})$$

$$C_e = (-1,75 + 0,064 * 70 + 0,0036 * 70^2) * 10^{-3} = 0,013 \quad (\text{ec. 64})$$

Una vez hecho esto solo faltaría calcular el rendimiento del vaso de expansión para lo que antes se necesita calcular la presión mínima (P_m) y la máxima (P_m). La primera de ellas se calculará como la diferencia de altura entre el punto más elevado de la instalación y el vaso de expansión dando un margen de expansión según exige la norma UNE 100155:2004 [28] de 0,2 bares, cálculo realizado aplicando la ecuación 65.

$$P_m = H + 1 + 0,2 \quad (\text{ec. 65})$$

$$P_m = 5 + 1 + 0,2 = 6,2 \text{ bar} \quad (\text{ec. 65})$$

Al realizar el cálculo de la presión máxima se van a utilizar 2 ecuaciones en función de la presión de la válvula de seguridad (P_{vs}). Son las ecuaciones 66 y 67, escogiendo como valor de la presión máxima, el valor más pequeño de los resultados obtenidos de la aplicación de ambas ecuaciones. El cálculo realizado ha sido:

$$P_M = 0,9 * P_{vs} + 1 \quad (\text{es el 10\% menos que } P_{vs} \text{)} \quad (\text{ec. 66})$$

$$P_M = P_{vs} + 0,65 \quad (\text{es 0,35 bar menos que } P_{vs} \text{)} \quad (\text{ec. 67})$$

Según el modelo de válvula de seguridad seleccionado KM 1/2" x 1/2" H-H del fabricante DUCO, cuya presión de válvula es 3 bar, se obtiene la presión máxima.

$$P_M = 5 + 0,9 * 3 + 1 = 8,7 \text{ bar} \quad (\text{ec. 66})$$

$$P_M = 5 + 3 + 0,65 = 8,65 \text{ bar} \quad (\text{ec. 67})$$

Por lo tanto, la presión máxima será la obtenida con la ecuación 49 al ser la menor de las dos. Con estos resultados de presiones mínima y máxima se obtiene el coeficiente de presión con la ecuación 68.

$$C_p = \frac{P_M}{P_M - P_m} = \frac{8,65}{8,65 - 6,2} = 3,53 \quad (\text{ec. 68})$$

Finalmente podemos calcular el volumen del vaso de expansión con la ecuación 32:

$$V_{\text{vaso}} = 3,645 * 0,013 * 3,53 = 0,17 \text{ l} \quad (\text{ec.32})$$

Por último, se acude al catálogo del fabricante y se selecciona el vaso de expansión inmediatamente superior al valor obtenido, en este caso se ha seleccionado el modelo 2 SMF del fabricante Ibaiondo de 2 litros de capacidad.

14 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LAS TUBERÍAS DEL CIRCUITO SECUNDARIO

Repitiendo el mismo proceso que para el dimensionado del circuito primario, se encuentra con el mismo caudal de 40 l/h por lo que la velocidad de circulación del fluido será la misma. Por tanto, el diámetro será el mismo, es decir un diámetro interior estándar de 8 mm y 1 mm de pared dando un diámetro exterior de tubería de 10 mm.

15 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE AISLAMIENTO DE LAS TUBERÍAS DEL CIRCUITO SECUNDARIO

De la misma manera que para el circuito primario la selección del espesor mínimo de aislamiento se realiza igual a excepción de que al ser tuberías que circulan por

el interior, el espesor mínimo será el que arroja directamente la ilustración 50 de este anexo. Por lo tanto, el diámetro de aislamiento de las tuberías del circuito secundario será de 25mm. Se utilizará también como material aislante la espuma elastómera de la marca Armaflex.

16 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA DEL CIRCUITO SECUNDARIO

En este apartado se va a proceder a calcular las pérdidas totales de carga del circuito secundario las cuales se desglosará en pérdidas en las tuberías, accesorios e intercambiador. Estas pérdidas totales se calcularan con la ecuación 69.

$$P_{tot} = P_{tub} + P_{acc} + P_{int} \quad (\text{ec. 69})$$

A su vez se dividirá el circuito secundario en el tramo de impulsión zona donde se ubica la bomba, que impulsa el agua a menor temperatura desde el acumulador hacia el intercambiador y el tramo de retorno, tramo por el cual circula el agua a mayor temperatura desde el intercambiador hasta el acumulador.

16.1 Pérdidas de carga en las tuberías

Al igual que en el circuito primario aplicando la ecuación 31 de la memoria, obteniendo las siguientes pérdidas reflejadas en la tabla 24:

Tramo	Q (l/h)	D _{int} (mm)	D _{ext} (mm)	v (m/s)	P tub. unit. (mm.c.a/m)	L (m)	P tub. (m.c.a.)
Impulsión	40	8	10	0,22	12,34	3,5	0,043
Retorno	40	8	10	0,22	12,34	3,5	0,043
TOTAL							0,086

Tabla 24. Pérdidas de carga lineal en las tuberías del circuito secundario (Fuente: Elaboración propia).

16.2 Pérdidas de carga en los accesorios

Este cálculo se realizará de la misma manera que para el circuito primario, acudiendo a la ilustración 51, para después aplicar la ecuación 31. Los resultados de los cálculos se expresan en la siguiente tabla 25:

Tramo	Tipo accesorio	Nº acc.	Q (l/h)	Dint (mm)	Dext (mm)	P acc. unit. (mm.c.a./m)	L eq unit. (m)	L eq (m)	P acc. (m.c.a.)
Impulsión	Antiretorno de batiente	2	40	8	10	12,34	0,20	0,40	0,005
	Curva 90°	3	40	8	10	12,34	0,18	0,54	0,007
	T Derivación	1	40	8	10	12,34	1,80	1,80	0,022
	Valvula retención escuadra	1	40	8	10	12,34	5,10	5,10	0,063
Retorno	Antiretorno de batiente	2	40	8	10	12,34	0,20	0,40	0,005
	T Confluencia	2	40	8	10	12,34	0,10	0,20	0,002
	Curva 90°	3	40	8	10	12,34	0,18	0,54	0,007
TOTAL									0,111

Tabla 25. Pérdidas de carga en los accesorios del circuito secundario (Fuente: Elaboración propia).

16.3 Pérdidas de carga en el intercambiador

Esta pérdida de carga hace referencia a la perdida de carga en el intercambiador del circuito primario, en la zona de este por la que circula agua como fluido de trabajo. Viene determinada por la ficha técnica del fabricante, "Anexo V", y es de 1 m.c.a.

16.4 Pérdidas de carga totales

Las pérdidas de carga total se realizarán siguiendo el mismo procedimiento que para el circuito primario sumando todas las pérdidas que se acaban de calcular con la ecuación 69.

$$P_{tot} = 0.086 + 0.111 + 1 = 1,197 \text{ m.c.a} \quad (\text{ec. 69})$$

Una vez conocidas estas pérdidas se puede calcular la bomba que mejor cumpla con las condiciones de la instalación. Con el caudal y las pérdidas se acude a la siguiente ilustración 54 y se obtiene la bomba.

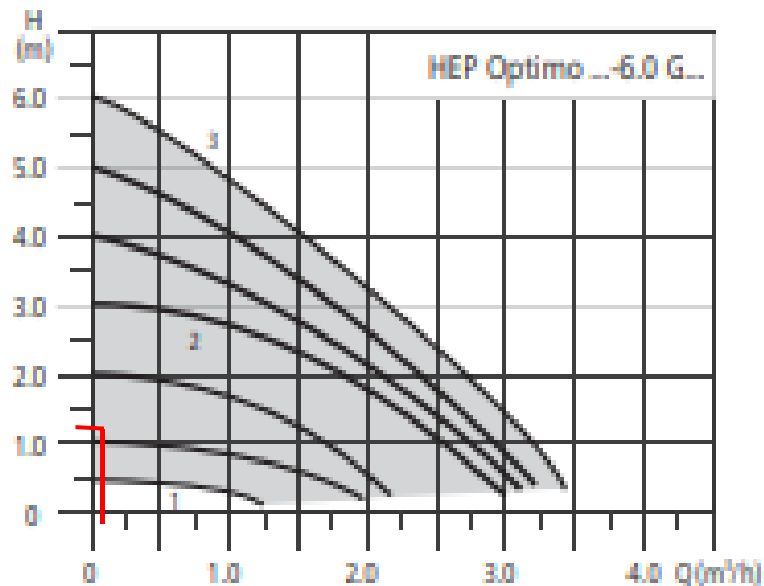


Ilustración 54. Curvas características de la bomba del circuito secundario (Fuente: [70]).

Según los datos obtenidos de la ilustración 54 se selecciona la bomba correspondiente a la tercera curva ya que es la inmediatamente superior al punto de funcionamiento obtenido, es decir el modelo HEP Optimo Basic 15-6.0 G130 del fabricante HALM, cuya referencia de catálogo es 0621-34006.2.

17 CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL VASO DE EXPANSIÓN DEL CIRCUITO SECUNDARIO

El cálculo del volumen del vaso de expansión del circuito secundario se realizará de forma análoga al del primario siguiendo el mismo procedimiento de cálculo dictado por la norma UNE 100155 [28].

Se calculara primero el volumen total de fluido en el circuito de expansión en litros como la suma del volumen de fluido en las tuberías del secundario y la bomba, por un lado, cuyo volumen se calcula aplicando la ecuación 62 y por otro

lado el intercambiador solar, el acumulador solar y el interacumulador auxiliar cuyo volumen lo proporciona el fabricante en las fichas técnicas correspondientes.

Estos cálculos se recogen en las siguientes tablas 26 y 27:

Tramo	Dint (mm)	L (m)	V (l)
Impulsión	8	3,5	0,18
Retorno	8	3,5	0,18
Bomba	15	0,13	0,02
TOTAL			0,37

Tabla 26. Volumen de fluido en el interior de las tuberías y la bomba (Fuente: Elaboración propia).

Tramo	V (l)
Intercambiador solar	0,14
Acumulador solar	200
Interacumulador auxiliar	80
TOTAL	280,14

Tabla 27. Volumen de fluido en el interior de intercambiador, acumulador e interacumulador auxiliar (Fuente: Elaboración propia).

Se obtiene un volumen total de fluido en el circuito secundario de 280,14 litros. Una vez obtenido este volumen se calcula el coeficiente de expansión (C_e) con la ecuación 64 del mismo modo que el cálculo en el circuito primario ya que la temperatura máxima será de 55º, para intentar reducir el salto térmico.

$$C_e = (-1,75 + 0,064 * 70 + 0,0036 * 70^2) * 10^{-3} = 0,013 \quad (\text{ec. 64})$$

A continuación se calcula el coeficiente de presión (C_p) con la ecuación 68 siguiendo el mismo procedimiento para los cálculos de la presión máxima y mínima ya que el modelo de bomba de seguridad seleccionado es el mismo.

$$C_p = \frac{P_M}{P_M - P_m} = \frac{8,65}{8,65 - 6,2} = 3,53 \quad (\text{ec. 68})$$

Por último, se calcula el volumen del vaso de expansión con la ecuación 32:

$$V_{\text{vaso}} = 280,14 * 0,013 * 3,53 = 12,86 \text{ l} \quad (\text{ec.32})$$

Con este volumen del vaso de expansión obtenido se acude al catálogo del fabricante y se selecciona el vaso cuyo volumen sea inmediatamente superior a este, seleccionando el modelo 24 SMF del fabricante Ibaiondo de 24 litros, cuya referencia en el catálogo es 02024070.

ANEXO III. CÁLCULOS INSTALACIÓN AUXILIAR DE ENERGÍA

1 CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA MÁXIMA PARA CALEFACCIÓN

El primer paso de este cálculo va a ser la obtención de los coeficientes de transferencia de calor para los siguientes elementos que conforman la vivienda:

1.1 Muros de carga

Primero se obtiene la conductividad y espesor de cada material según el CTE:

Muro de carga		
Material	Conductividad (W/m·K)	Espesor (cm)
Pladur	0,25	2
Ladrillo perforado	0,35	10
Lana de roca	0,035	2,5
Espuma de poliuretano	0,025	2,5
Mortero mixto	1,3	1
Piedra caliza	2,3	3,5

Tabla 28. Materiales del muro de carga (Fuente: Elaboración propia).

Una vez obtenidos estos datos se aplica la ecuación 33 y se calcula el coeficiente de transmisión de calor del muro de carga.

$$U_{muro} = 0,48 \frac{W}{m^2 K} \quad (\text{ec.33})$$

1.2 Cubierta

De la siguiente ilustración se utiliza la ecuación 35 para calcular el coeficiente U, obteniendo antes la resistencia térmica con la ecuación 34, para lo que será necesario el espesor y la conductividad del aislante de la cubierta.

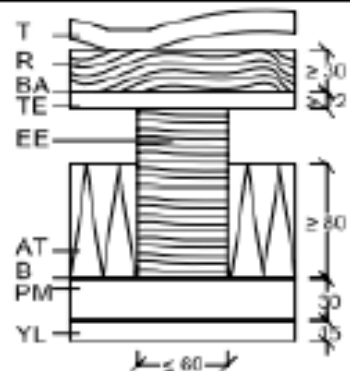
T tejado (Tejas cerámicas o de hormigón) R rastrol de madera ⁽¹⁾ BA barrera contra el agua TE tablero estructural EE elemento estructural de madera AT aislante, lana mineral B barrera contra el vapor. Sólo si hay riesgo de condensación según lo dispuesto en el Documento Básico DB HE-1 Limitación de la demanda energética PM perfilera metálica YL placa de yeso laminado						
Codigo	Sección (mm)	Aislante	HE	HR ⁽⁶⁾		
		espesor (mm)	U ⁽⁷⁾ (W/m ² K)	m (kg/m ²)	R _s (dB)	R _{ab} (dB)
C 14.3 ⁽⁸⁾		80		60	45	41
		100	1,24/(1,24+R _{AT})	61	46	41
		120		62	46	42

Ilustración 55. Estructura de la cubierta (Fuente [71]).

Cubierta		
Material	Conductividad (W/m·K)	Espesor (cm)
Lana de roca	0,035	8

Tabla 29. Materiales de la cubierta (Fuente: Elaboración propia).

$$R_{AT} = \frac{0,08}{0,035} = 2,29 \frac{m^2 K}{W} \quad (\text{ec.34})$$

$$U_{cub} = \frac{1,24}{1,24 + 2,29} = 0,35 \frac{W}{m^2K} \quad (\text{ec.35})$$

Una vez hecho esto se calcula el coeficiente de transferencia de calor real de la cubierta con la ecuación 36, para lo que es necesario obtener primero el valor de b de la ilustración 56.

	No aislado _{nh-e}		Aislado _{nh-nh}		No aislado _{nh-e}		Aislado _{nh-e}		No aislado _{nh-nh}	
A_{nh-nh}/A_{nh-e}	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
<0,25	0,99	1,00	0,94	0,97	0,91	0,96	0,91	0,96	0,91	0,96
0,25 ≤ 0,50	0,97	0,99	0,85	0,92	0,77	0,90	0,77	0,90	0,77	0,90
0,50 ≤ 0,75	0,96	0,98	0,77	0,87	0,67	0,84	0,67	0,84	0,67	0,84
0,75 ≤ 1,00	0,94	0,97	0,70	0,83	0,59	0,79	0,59	0,79	0,59	0,79
1,00 ≤ 1,25	0,92	0,96	0,65	0,79	0,53	0,74	0,53	0,74	0,53	0,74
1,25 ≤ 2,00	0,89	0,95	0,56	0,73	0,44	0,67	0,44	0,67	0,44	0,67
2,00 ≤ 2,50	0,86	0,93	0,48	0,66	0,36	0,59	0,36	0,59	0,36	0,59
2,50 ≤ 3,00	0,83	0,91	0,43	0,61	0,32	0,54	0,32	0,54	0,32	0,54
>3,00	0,81	0,90	0,39	0,57	0,28	0,50	0,28	0,50	0,28	0,50

Ilustración 56. Estructura de la ventana (Fuente [18]).

$$U_{Cub.Real} = 0,35 \cdot 0,91 = 0,32 \frac{W}{m^2K} \quad (\text{ec.36})$$

1.3 Ventanas

La estructura escogida para el tipo de ventana en la ilustración 57 por su similitud con la vivienda objeto de estudio, ha sido la que posee un 20% de superficie de marco y un espesor de vidrio sencillo de 4mm. Para esta estructura se obtiene el valor del coeficiente de transferencia térmica.

HUECO sin capitizado									
MARCO DE MADERA de 500 kg/m ³ de densidad						Umarco		2,2	
Acristalamiento incoloro vertical									
HE									
Composición		Vidrios normales				1 vidrio normal + 1 vidrio de baja emisividad			
Tipo	Espesor (mm)	Fracción de marco ⁽¹⁾ 20%		40%		Fracción de marco ⁽¹⁾ 20%		40%	
		U _g (W/m ² ·K)	$\frac{F_{H(2)D}}{E_u}$	U _g (W/m ² ·K)	$\frac{F_{H(2)D}}{E_u}$	U _g (W/m ² ·K)	$\frac{F_{H(2)D}}{E_u}$	U _g (W/m ² ·K)	$\frac{F_{H(2)D}}{E_u}$
Vidrio sencillo	4	5,0	0,69	4,3	0,54	-	-	-	-
	6	4,8		4,3		-	-	-	-
	8	4,9		4,3		-	-	-	-
	10	4,9		4,2		-	-	-	-
	12	4,8		4,2		-	-	-	-
Vidrio laminar ⁽⁴⁾	3+3	4,9	0,65	4,3	0,51	-	-	-	-
	4+4	4,9		4,2		-	-	-	-
	6+6	4,8		4,1		-	-	-	-
	8+8	4,7		4,1		-	-	-	-
	10+10	4,6		4,0		-	-	-	-
Unidades de vidrio aislante ⁽⁵⁾	(4...6)-8-(4...10)	3,1	0,62	2,8	0,48	2,6	0,52	2,5	0,41
	(4...6)-8-(4...10)	2,8		2,7		2,3		2,3	
	(4...6)-12-(4...10)	2,7		2,6		2,1		2,1	
	(4...6)-16-(4...10)	2,6		2,5		1,9		2,0	
	(4...6)-20-(4...10)	2,6		2,5		1,9		2,0	
Unidades de vidrio aislante y vidrio laminar ⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾	(4...6)-8-(4+4 ... 6+6)	3,0	0,62	2,8	0,47	2,6	0,45	2,5	0,36
	(4...6)-8-(4+4 ... 6+6)	2,8		2,7		2,2		2,2	
	(4...6)-12-(4+4 ... 6+6)	2,7		2,6		2,0		2,1	
	(4...6)-16-(4+4 ... 6+6)	2,6		2,5		1,9		2,0	
	(4...6)-20-(4+4 ... 6+6)	2,6		2,5		1,9		2,0	

Ilustración 57. Estructura de la ventana (Fuente [71]).

$$U_{\text{ventanas}} = 5 \frac{W}{m^2 K}$$

1.4 Suelo

La ilustración 58 recoge las distintas capas que constituyen la estructura del suelo de la vivienda. Una vez conocidos los distintos materiales que componen el suelo se acude al CTE para obtener la conductividad y espesor de cada capa de material (tabla 30) y de esta forma se determina el coeficiente de transferencia de calor con la ecuación 37.

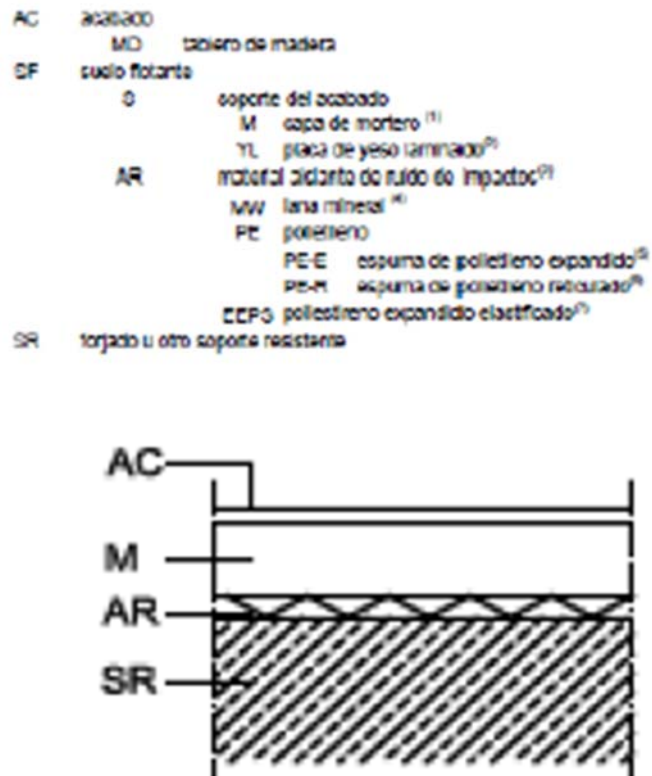


Ilustración 58. Composición del suelo (Fuente [71]).

Suelo		
Material	Conductividad (W/m·K)	Espesor (cm)
Baldosa	1,3	0,8
Tablero madera	0,24	0,8
Mortero mixto	1,3	3,5
Lana de roca	0,035	1,2
Polietileno	0,5	2
Poliestireno expandido	0,16	3
Forjado de hormigón	0,23	30

Tabla 30. Materiales del suelo (Fuente: Elaboración propia).

$$U_{\text{suelo}} = 0,52 \frac{W}{m^2 K} \quad (\text{ec.37})$$

1.5 Particiones interiores

Tabiques interiores

A partir de la composición de los tabiques (ilustración 59) se acude al CTE para obtener los espesores y conductividad de cada material reflejados en la tabla 31 para después calcular el coeficiente U con la ecuación 38.

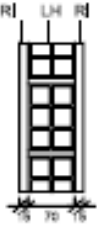
PARTICIÓN INTERIOR VERTICAL/ MEDIANERÍA					
DE FÁBRICA O DE HORMIGÓN					
Una hoja					
<p>HF hoja de fábrica</p> <p>LH ladrillo cerámico hueco</p> <p>LH PF ladrillo cerámico hueco de pequeño formato</p> <p>LH GF ladrillo cerámico hueco de gran formato ⁽¹⁾</p> <p>LP ladrillo cerámico perforado</p> <p>BC bloque cerámico aligerado machihembrado</p> <p>PES panel de yeso o escayola</p> <p>BH bloque de hormigón</p> <p>AD de áridos densos ⁽²⁾</p> <p>AL-P de áridos ligeros perforado ⁽³⁾</p> <p>AL-M de áridos ligeros macizo ⁽⁴⁾</p> <p>LHO Ladrillo de hormigón</p> <p>AD-P de áridos densos ⁽²⁾ perforado</p> <p>AD-M de áridos densos ⁽²⁾ macizo</p> <p>AL-P de áridos ligeros ⁽³⁾ perforado</p> <p>BP bloque de picón</p> <p>H hoja de hormigón armado</p> <p>H C con hormigón convencional</p> <p>H AL con hormigón de áridos ligeros ⁽⁵⁾</p> <p>RI revestimiento interior (Guarnecido o enlucido)</p>					
Código	Sección	Hoja de fábrica HF	HE ⁽⁷⁾	HR ⁽⁸⁾	
			R (m ² /K/W)	R _s (dBA)	m (kg/m ²)
P1.1 ⁽⁹⁾		LH PF	0,21	36 [37]	89 [97]
P1.2 ⁽⁹⁾		LH GF	0,38	33 [34]	70 [80]

Ilustración 59. Estructura del tabique de partición interior (Fuente [71]).

Tabique interior		
Material	Conductividad (W/m·K)	Espesor (cm)
Ladrillo hueco	0,32	5
Pladur	0,25	4

Tabla 31. Materiales del suelo (Fuente: Elaboración propia).

$$U_{\text{Tabique Int.}} = 3,16 \frac{W}{m^2 K} \quad (\text{ec.38})$$

Techo separador

Una vez escogida la estructura del techo (ilustración 60) consultando el CTE documento CAT-EC, se acude al CTE para obtener los espesores y conductividad de cada material, además de la resistencia térmica para el hormigón que viene dada directamente (tabla 32) para después obtener el coeficiente de transferencia de calor con la ecuación 39.

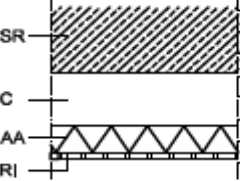
TECHOS PARA ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO						
SR forjado u otro soporte resistente TS techo suspendido C cámara de aire de espesor mayor que 150 mm AA material absorbente acústico MW lana mineral o fibras sintéticas ⁽¹⁾ V velo de fibras ⁽²⁾ RI revestimiento interior YL placa de yeso laminado CM panel metálico PMW panel aglomerado de lana mineral PA panel aglomerado de fibras de madera p porcentaje de perforación, (%).						
Código	Sección	Revest interior RI	Porcentaje de perforación p	Material absorbente acústico AA	HE R _{ts} (m ² K/W)	HR α _m
T04		YL	0	—	0,22	0,06
			0<p<10	MW	0,16+R _{AA}	0,45 - 0,60
				V		0,45 - 0,60
			10≤p<20	MW		0,45 - 0,70
				V		0,45 - 0,70
			≥20	MW		0,60-0,90
				V		0,60-0,70
		PES	0	—	0,22	0,05
			0<p<10	MW	0,16+R _{AA}	0,40 - 0,60
				V		0,40
			10<p<20	MW		0,60
				V		0,60
			≥20	MW		0,60-0,90
		PMW	—	—	0,16+R _{PMW}	0,45 - 0,90
		PA	—	—	0,16+R _{PA}	0,45 - 0,90

Ilustración 60. Estructura del techo (Fuente [71]).

Techo separador		
Material	Conductividad (W/m·K)	Espesor (cm)
Cámara de aire	0,024	20
Lana de roca	0,035	1
Pladur	0,25	2
RAT Hormigón	0,15	

Tabla 32. Materiales del techo (Fuente: Elaboración propia).

$$U_{Techo.} = 0,11 \frac{W}{m^2 K} \quad (ec.39)$$

Puentes térmicos

Este coeficiente de transferencia de calor se obtiene directamente de la ilustración 61, escogiendo el valor de 0,1 ya que la vivienda de este proyecto no es un edificio de nueva construcción, ni tampoco cumple las características del tercer caso, por lo que el que mejor se adapta es el último de ellos, "resto de edificios".

Criterio de selección	Transmitancia térmica adicional
	ΔU_{m}
	$[W/(m^2 \cdot K)]$
Edificios nuevos con un alto nivel de aislamiento térmico y reducción al mínimo acreditada de los puentes térmicos, que supere las reglas generalmente reconocidas de la práctica	0,02
Edificios nuevos conformes con las reglas generalmente reconocidas de la práctica, con respecto a la reducción al mínimo de los puentes térmicos	0,05
Edificios que tienen principalmente aislamiento térmico por el interior interrumpido por los forjados de los techos (por ejemplo, hormigón armado)	0,15
Todo el resto de edificios	0,10

Ilustración 61. Coeficientes de transferencia de calor en los puentes térmicos (Fuente [36]).

Según lo explicado anteriormente:

$$U_{puentes} = 0,1 \frac{W}{m^2 K}$$

Una vez ya se han calculado todos los coeficientes de transferencia de calor se procederá a determinar la demanda energética máxima para calefacción. Dicha demanda será obtenida a partir de la estimación de las pérdidas por transmisión de calor y por ventilación para cada estancia calefactada de la vivienda.

Cabe destacar que para estos cálculos se han tomado una serie de datos preestablecidos que son los siguientes:

- La temperatura interior de la vivienda en los espacios calefactados será de 21°C cumpliendo con las exigencias del RITE.

- La temperatura mínima del cuarto de calderas anexo al muro de carga del dormitorio 2 será de 7°C.
- La temperatura superficial del terreno será de 8°C como así lo indica la norma UNE 100014-2004 [37].
- Para las puertas de entrada de la vivienda se considera que tienen el mismo coeficiente de transferencia de calor que las ventanas.
- Se ha establecido un número de renovaciones de aire por hora de 1.

A continuación, se muestran los cálculos realizados para cada una de las estancias de la vivienda en las siguientes tablas:

Planta baja	Cocina						
Elementos	Orientación	U (W/m ² K)	S (m ²)	ΔT (°C)	C ₁	C ₂	Pérdidas (W)
Muro carga	S	0,58	10,94	17,2	1,1	1	119,07
Muro carga	O	0,58	9,34	17,2	1,1	1,05	106,79
Tabique Int. E	Esp. Calef	3,16	9,40	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. N	Esp. Calef	3,16	8,56	0	1,1	1	0,00
Ventana	O	5,1	2,55	17,2	1,1	1,05	258,36
Ventana	S	5,1	2,55	17,2	1,1	1	246,05
Suelo	-	0,52	15,47	13	1,1	1	113,94
Techo	Esp. Calef	0,11	15,47	0	1,1	1	0,00
Pérdidas Transm. Calor (W)							844,21
Volumen Estancia (m ³)							44,85
Pérdidas Ventilación (W)							258,43
Pérdidas totales (W)							1102,64

Tabla 33. Pérdidas cocina planta baja (Fuente: Elaboración propia).

Planta baja	Salón/Comedor						
Elementos	Orientación	U (W/m ² K)	S (m ²)	ΔT (°C)	C ₁	C ₂	Pérdidas (W)
Muro carga	E	0,58	6,15	17,2	1,1	1,1	73,66
Muro carga	S	0,58	9,34	17,2	1,1	1	101,70
Tabique Int. O	Esp. Calef	3,16	7,25	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. N	Esp. Calef	3,16	4,21	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. N	Esp. Calef	3,16	5,08	0	1,1	1	0,00
Ventana	E	5,1	2,55	17,2	1,1	1,1	270,66
Ventana	S	5,1	2,55	17,2	1,1	1	24,85
Suelo	-	0,52	9,85	13	1,1	1	15,92
Techo	Esp. Calef	0,11	9,85	0	1,1	1	0,00
Pérdidas Transmisión Calor (W)							486,80
Volumen Estancia (m ³)							28,57
Pérdidas Ventilación (W)							164,59
Pérdidas totales (W)							651,39

Tabla 34. Pérdidas salón/comedor planta baja (Fuente: Elaboración propia).

Planta baja	Baño						
Elementos	Orientación	U (W/m ² K)	S (m ²)	ΔT (°C)	C ₁	C ₂	Pérdidas (W)
Muro carga	O	0,58	4,53	17,2	1,1	1,05	51,74
Tabique Int. E	Esp. Calef	3,16	2,38	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. N	Esp. Calef	3,16	8,56	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. S	Esp. Calef	3,16	8,56	0	1,1	1	0,00
Ventana	O	5,1	1,28	17,2	1,1	1,05	129,18
Suelo	-	0,52	4,90	13	1,1	1	36,10
Techo	Esp. Calef	0,11	4,90	0	1,1	1	0,00
Pérdidas Transmisión Calor (W)							217,01
Volumen Estancia (m ³)							14,21
Pérdidas Ventilación (W)							81,88
Pérdidas totales (W)							298,89

Tabla 35. Pérdidas baño planta baja (Fuente: Elaboración propia).

Planta baja	Dormitorio 1						
Elementos	Orientación	U (W/m ² K)	S (m ²)	ΔT (°C)	C ₁	C ₂	Pérdidas (W)
Muro carga	E	0,58	7,02	17,2	1,1	1,1	84,09
Tabique Int. O	Esp. Calef	3,16	6,09	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. N	Esp. Calef	3,16	8,99	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. S	Esp. Calef	3,16	8,99	0	1,1	1	0,00
Ventana	E	5,1	2,55	17,2	1,1	1,1	270,66
Suelo	-	0,52	8,85	13	1,1	1	65,20
Techo	Esp. Calef	0,11	8,85	0	1,1	1	0,00
Pérdidas Transmisión Calor (W)							419,94
Volumen Estancia (m ³)							25,67
Pérdidas Ventilación (W)							147,88
Pérdidas totales (W)							567,82

Tabla 36. Pérdidas dormitorio 1 planta baja (Fuente: Elaboración propia).

Planta baja	Dormitorio 2						
Elementos	Orientación	U (W/m ² K)	S (m ²)	ΔT (°C)	C ₁	C ₂	Pérdidas (W)
Muro carga	N (Esp. No Calef.)	0,58	12,62	14	1,1	1,15	128,58
Muro carga	E	0,58	5,57	17,2	2,1	1,1	127,37
Tabique Int. O	Esp. Calef	3,16	8,12	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. S	Esp. Calef	3,16	8,99	0	1,1	1	0,00
Ventana	E	5,1	2,55	17,2	1,1	1,1	270,66
Suelo	-	0,52	10,44	13	1,1	1	76,92
Techo	Esp. Calef	0,11	10,44	0	1,1	1	0,00
Pérdidas Transmisión Calor (W)							603,53
Volumen Estancia (m ³)							30,28
Pérdidas Ventilación (W)							174,47
Pérdidas totales (W)							777,99

Tabla 37. Pérdidas dormitorio 2 planta baja (Fuente: Elaboración propia).

Planta baja	Dormitorio 3						
Elementos	Orientación	U (W/m ² K)	S (m ²)	ΔT (°C)	C ₁	C ₂	Pérdidas (W)
Muro carga	N	0,58	9,37	17,2	1,1	1,15	117,30
Muro carga	O	0,58	9,72	17,2	2,1	1,05	212,10
Tabique Int. E	Esp. Calef	3,16	8,99	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. S	Esp. Calef	3,16	8,56	0	1,1	1	0,00
Ventana	O	5,1	2,55	17,2	1,1	1,05	258,36
Suelo	-	0,52	11,06	13	1,1	1	81,48
Techo	Esp. Calef	0,11	11,06	0	1,1	1	0,00
Pérdidas Transmisión Calor (W)							669,23
Volumen Estancia (m ³)							32,07
Pérdidas Ventilación (W)							184,81
Pérdidas totales (W)							854,04

Tabla 38. Pérdidas dormitorio 3 planta baja (Fuente: Elaboración propia).

Planta baja	Pasillo						
Elementos	Orientación	U (W/m ² K)	S (m ²)	ΔT (°C)	C ₁	C ₂	Pérdidas (W)
Muro carga	E	0,58	1,16	17,2	1,1	1,1	13,89
Tabique Int. S	Esp. Calef	3,16	4,21	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. S	Esp. Calef	3,16	5,08	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. O	Esp. Calef	3,16	2,38	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. E	Esp. Calef	3,16	6,09	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. N	Esp. Calef	3,16	8,99	0	1,1	1	0,00
Puerta	E	5,1	4,06	17,2	1,1	1,1	430,93
Suelo	-	0,52	8,44	13	1,1	1	62,16
Techo	Esp. Calef	0,11	8,44	0	1,1	1	0,00
Pérdidas Transmisión Calor (W)							506,99
Volumen Estancia (m ³)							24,47
Pérdidas Ventilación (W)							140,99
Pérdidas totales (W)							647,98

Tabla 39. Pérdidas pasillo planta baja (Fuente: Elaboración propia).

Planta 1	Salón/Comedor						
Elementos	Orientación	U (W/m ² K)	S (m ²)	ΔT (°C)	C ₁	C ₂	Pérdidas (W)
Muro carga	S	0,58	13,69	17,2	1,1	1	149,07
Muro carga	O	0,58	10,21	17,2	1,1	1,05	116,74
Muro carga	N	0,58	2,76	17,2	1,1	1,15	34,50
Tabique Int. E	Esp. Calef	3,16	10,37	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. N	Esp. Calef	3,16	8,12	0	1,1	1	0,00
Ventana	O	5,1	2,55	17,2	1,1	1,05	258,36
Ventana	S	5,1	2,55	17,2	1,1	1	246,05
Cubierta	-	0,42	19,08	14	1,1	1	123,40
Techo	Esp. Calef	0,11	19,08	0	1,1	1	0,00
Pérdidas Transmisión Calor (W)							928,12
Volumen Estancia (m ³)							55,32
Pérdidas Ventilación (W)							318,76
Pérdidas totales (W)							1246,87

Tabla 40. Pérdidas salón/comedor planta 1 (Fuente: Elaboración propia).

Planta 1	Cocina						
Elementos	Orientación	U (W/m ² K)	S (m ²)	ΔT (°C)	C ₁	C ₂	Pérdidas (W)
Muro carga	E	0,58	4,70	17,2	1,1	1,1	56,30
Muro carga	S	0,58	11,95	17,2	1,1	1	130,12
Muro carga	N	0,58	5,37	17,2	2,1	1,15	128,26
Tabique Int. O	Esp. Calef	3,16	7,25	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. N	Esp. Calef	3,16	5,08	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. N	Esp. Calef	3,16	2,90	0	1,1	1	0,00
Ventana	E	5,1	2,55	17,2	1,1	1,1	270,66
Ventana	S	5,1	2,55	17,2	1,1	1	20,27
Cubierta	-	0,42	12,48	14	1,1	1	21,71
Techo	Esp. Calef	0,11	12,48	0	1,1	1	0,00
Pérdidas Transmisión Calor (W)							627,31
Volumen Estancia (m ³)							36,18
Pérdidas Ventilación (W)							208,45
Pérdidas totales (W)							835,77

Tabla 41. Pérdidas cocina planta 1 (Fuente: Elaboración propia).

Planta 1	Baño						
Elementos	Orientación	U (W/m ² K)	S (m ²)	ΔT (°C)	C ₁	C ₂	Pérdidas (W)
Muro carga	O	0,58	4,53	17,2	1,1	1,05	51,74
Tabique Int. E	Esp. Calef	3,16	2,38	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. N	Esp. Calef	3,16	8,56	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. S	Esp. Calef	3,16	8,56	0	1,1	1	0,00
Ventana	O	5,1	1,28	17,2	1,1	1,05	129,18
Cubierta	-	0,42	4,90	14	1,1	1	31,70
Techo	Esp. Calef	0,11	4,90	0	1,1	1	0,00
Pérdidas Transmisión Calor (W)							212,61
Volumen Estancia (m ³)							14,21
Pérdidas Ventilación (W)							81,88
Pérdidas totales (W)							294,49

Tabla 42. Pérdidas baño planta 1 (Fuente: Elaboración propia).

Planta 1	Dormitorio 1						
Elementos	Orientación	U (W/m ² K)	S (m ²)	ΔT (°C)	C ₁	C ₂	Pérdidas (W)
Muro carga	E	0,58	7,02	17,2	1,1	1,1	84,09
Tabique Int. O	Esp. Calef	3,16	6,09	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. N	Esp. Calef	3,16	8,99	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. S	Esp. Calef	3,16	8,99	0	1,1	1	0,00
Ventana	E	5,1	2,55	17,2	1,1	1,1	270,66
Cubierta	-	0,42	8,85	14	1,1	1	57,25
Techo	Esp. Calef	0,11	8,85	0	1,1	1	0,00
Pérdidas Transmisión Calor (W)							411,99
Volumen Estancia (m ³)							25,67
Pérdidas Ventilación (W)							147,88
Pérdidas totales (W)							559,88

Tabla 43. Pérdidas dormitorio 1 planta 1 (Fuente: Elaboración propia).

Planta 1	Dormitorio 2						
Elementos	Orientación	U (W/m ² K)	S (m ²)	ΔT (°C)	C ₁	C ₂	Pérdidas (W)
Muro carga	N	0,58	12,62	17,2	1,1	1,15	157,97
Muro carga	E	0,58	5,57	17,2	2,1	1,1	127,37
Tabique Int. O	Esp. Calef	3,16	8,12	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. S	Esp. Calef	3,16	8,99	0	1,1	1	0,00
Ventana	E	5,1	2,55	17,2	1,1	1,1	270,66
Cubierta	-	0,42	10,44	14	1,1	1	67,54
Techo	Esp. Calef	0,11	10,44	0	1,1	1	0,00
Pérdidas Transmisión Calor (W)							623,54
Volumen Estancia (m ³)							30,28
Pérdidas Ventilación (W)							174,47
Pérdidas totales (W)							798,01

Tabla 44. Pérdidas dormitorio 2 planta 1 (Fuente: Elaboración propia).

Planta 1	Dormitorio 3						
Elementos	Orientación	U (W/m ² K)	S (m ²)	ΔT (°C)	C ₁	C ₂	Pérdidas (W)
Muro carga	N	0,58	9,37	17,2	1,1	1,15	117,30
Muro carga	O	0,58	9,92	17,2	2,1	1,05	216,53
Tabique Int. E	Esp. Calef	3,16	8,99	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. S	Esp. Calef	3,16	8,56	0	1,1	1	0,00
Ventana	O	5,1	2,55	17,2	1,1	1,05	258,36
Cubierta	-	0,42	11,06	14	1,1	1	71,54
Techo	Esp. Calef	0,11	11,06	0	1,1	1	0,00
Pérdidas Transmisión Calor (W)							663,73
Volumen Estancia (m ³)							32,07
Pérdidas Ventilación (W)							184,81
Pérdidas totales (W)							848,54

Tabla 45. Pérdidas dormitorio 3 planta 1 (Fuente: Elaboración propia).

Planta 1	Pasillo						
Elementos	Orientación	U (W/m ² K)	S (m ²)	ΔT (°C)	C ₁	C ₂	Pérdidas (W)
Muro carga	E	0,58	1,16	17,2	1,1	1,1	13,89
Tabique Int. S	Esp. Calef	3,16	5,08	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. S	Esp. Calef	3,16	2,90	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. O	Esp. Calef	3,16	2,38	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. E	Esp. Calef	3,16	6,09	0	1,1	1	0,00
Tabique Int. N	Esp. Calef	3,16	8,99	0	1,1	1	0,00
Puerta	E	5,1	4,06	17,2	1,1	1,1	430,93
Cubierta	-	0,42	7,54	14	1,1	1	48,80
Techo	Esp. Calef	0,11	7,54	0	1,1	1	0,00
Pérdidas Transmisión Calor (W)							493,63
Volumen Estancia (m ³)							21,88
Pérdidas Ventilación (W)							126,07
Pérdidas totales (W)							619,70

Tabla 46. Pérdidas pasillo planta 1 (Fuente: Elaboración propia).

Sumando las pérdidas de cada una de las estancias se obtiene la demanda energética máxima para calefacción.

$$Q_{calef.max} = 10104,02 \text{ W}$$

Una vez obtenido el valor de esta demanda se seleccionará el modelo de caldera de biomasa modelo DOMUS FIRE HR C24 del fabricante ANSELMO COLA con una potencia térmica nominal de 23,2 kW.

2 DEMANDA ENERGÉTICA POR CONSUMO DE ACS

Esta demanda se ha calculado en el "Anexo II. Apartado 2", pero del total de esa demanda calculada para ACS el 30% se consigue cubrir mediante energía solar térmica y el 70% restante será lo que se deba cubrir con la energía de biomasa reflejado en la siguiente tabla 47.

Nº días	Mes	Tª A.F. Santander (°C)	Tª A.F. Matienzo (°C)	Demanda 45°C (l/día)	D. Energética Total Q (kWh)	Aporte con Biomasa (kWh)
31	ENERO	10	8,96	237,92	308,95	216,27
28	FEBRERO	10	8,96	237,92	279,06	195,34
31	MARZO	11	9,96	239,91	302,90	212,03
30	ABRIL	11	10,48	241,00	290,08	203,05
31	MAYO	13	12,48	245,49	287,64	201,35
30	JUNIO	15	14,48	250,57	266,65	186,65
31	JULIO	16	15,48	253,36	269,48	188,64
31	AGOSTO	16	15,48	253,36	269,48	188,64
30	SEPTIEMBRE	16	15,48	253,36	260,79	182,55
31	OCTUBRE	14	12,96	246,64	284,74	199,32
30	NOVIEMBRE	12	10,96	242,02	287,27	201,09
31	DICIEMBRE	10	8,96	237,92	308,95	216,27
Biomasa (70%)						2391,20

Tabla 47. Demanda energética de ACS con biomasa (Fuente: Elaboración propia).

3 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA POR EL CIRCUITO DE ACS Y CALEFACCIÓN

3.1 Pérdidas circuito ACS

A continuación se detalla el cálculo de las pérdidas de carga a lo largo del circuito de ACS. Al contar con 2 plantas se ha dividido el circuito de ACS en 2 circuitos prácticamente iguales variando únicamente la longitud de las tuberías. Por lo tanto, en primer lugar se realiza el cálculo para la planta baja y posteriormente el de la planta superior.

En primer lugar se va a calcular el caudal que va a circular por este circuito. Acudiendo al CTE se procede a obtener el caudal instantáneo de agua (ilustración 21).

En función de los aparatos que contiene la vivienda se obtiene el caudal total de agua expresado en la siguiente tabla 48.

Estancia	Elementos	Consumo AFS (l/s)	Consumo ACS (l/s)
Cocina Planta Baja	Fregadero	0,2	0,1
	Lavavajillas	0,15	0,1
	Lavadora	0,2	0,15
Baño Planta Baja	Ducha	0,2	0,1
	Lavabo	0,1	0,065
	Inodoro con cisterna	0,1	-
Total		0,95	0,52

Tabla 48. Consumo de agua por cada aparato (Fuente: Elaboración propia).

Según la norma UNE 149201:2017 [72] se deben calcular el caudal simultáneo con la siguiente ecuación 70:

$$Q_c = A \cdot Q_T^B + C \quad (\text{ec. 70})$$

Donde:

Q_c : Caudal simultáneo (l/s)

Q_T : Caudal total de ACS (l/s)

A, B y C : Coeficientes que dependen del tipo de edificio, caudales totales del edificio y máximos de los aparatos.

Se obtienen los parámetros que se acaban de nombrar de la ilustración 62 obtenida de la norma UNE 149201:2017 [72].

COEFICIENTES DE SIMULTANEIDAD SEGÚN UNE 149.201					
TIPO DE EDIFICIO	CAUDALES (l/s)		COEFICIENTES		
	Q_{Uj}	Q_T	A	B	C
	$< 0,5$	≤ 20	0,682	0,450	-0,140
VIVIENDAS	$\geq 0,5$	≤ 1	1,000	1,000	0,000
	$\geq 0,5$	≤ 20	1,700	0,210	-0,700
	Sin Límite	> 20	1,700	0,210	-0,700
OFICINAS, ESTACIONES, AEROPUERTOS, ETC.	$< 0,5$	≤ 20	0,682	0,450	-0,140
	$\geq 0,5$	≤ 1	1,000	1,000	0,000
	$\geq 0,5$	≤ 20	1,700	0,210	-0,700
	Sin Límite	> 20	0,400	0,540	0,480
HOTELES, DISCOTECAS, MUSEOS,	$< 0,5$	≤ 20	0,698	0,500	-0,120
	$\geq 0,5$	≤ 1	1,000	1,000	0,000
	$\geq 0,5$	≤ 20	1,000	0,366	0,000
	Sin Límite	> 20	1,080	0,500	-1,830
CENTROS COMERCIALES	$< 0,5$	≤ 20	0,698	0,500	-0,120
	$\geq 0,5$	≤ 1	1,000	1,000	0,000
	$\geq 0,5$	≤ 20	1,000	0,366	0,000
	Sin Límite	> 20	4,300	0,270	-6,650
HOSPITALES	$< 0,5$	≤ 20	0,698	0,500	-0,120
	$\geq 0,5$	≤ 1	1,000	1,000	0,000
	$\geq 0,5$	≤ 20	1,000	0,366	0,000
	Sin Límite	> 20	0,250	0,650	1,250
ESCUELAS, POLIDEPORTIVOS	Sin Límite	≤ 20	4,400	0,270	-3,410
		$\leq 1,5$	1,000	1,000	0,000
		≤ 20	4,400	0,270	-3,410
		> 20	-22,500	-0,500	11,500

Ilustración 62. Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato (Fuente: [72]).

Se observa que para el caso de caudales por elemento menores de 0,5 l/s y caudal total menor de 20 l/s los valores para los coeficientes son:

$$A = 0,682; B = 0,45; C = -0,14$$

Aplicando la ecuación 70 se obtiene un caudal total de:

$$Q_c = 0,682 \cdot 0,52^{0,45} - 0,14 = 0,37 \text{ l/s} \quad (\text{ec. 70})$$

Debido a que el CTE aconseja que la velocidad de impulsión del agua debe estar entre 0,5 m/s y 1,5 m/s se toma como velocidad 1 m/s.

Aplicando la ecuación 71 se obtiene la sección de la tubería y posteriormente el diámetro interior de la misma.

$$Q = S \cdot v \quad (\text{ec. 71})$$

Donde:

Q : Caudal de la tubería (m^3/s)

S : Sección de la tubería (m^2)

v : Velocidad del agua en m/s

Se obtiene una sección de tubería de $3,7 \cdot 10^{-4} m^2$, y con ello un diámetro interior de 21,7 mm con el que acudiendo a la guía del IDAE [39] se obtiene el diámetro estándar para tuberías termoplásticas (ilustración 63), y escogiendo la serie 3.2 el diámetro interior inmediatamente superior al obtenido son 23,4 mm de diámetro interior y 32 mm de exterior. Con este diámetro interior se continuara los cálculos.

Espesor teórico (mm) y diámetro interior (mm) de tuberías termoplásticas según la serie								
Φ exterior (mm)	Serie 2		Serie 2,5		Serie 3,2		Serie 4	
	Espesor	Φ int.	Espesor	Φ int.	Espesor	Φ int.	Espesor	Φ int.
12	2,4	7,2	2,0	8,0	1,6	8,8	1,3	9,3
16	3,2	9,6	2,7	10,7	2,2	11,7	1,8	12,4
20	4,0	12,0	3,3	13,3	2,7	14,6	2,2	15,6
25	5,0	15,0	4,2	16,7	3,4	18,2	2,8	19,4
32	6,4	19,2	5,3	21,3	4,3	23,4	3,6	24,9
40	8,0	24,0	6,7	26,7	5,4	29,2	4,4	31,1
50	10,0	30,0	8,3	33,3	6,8	36,5	5,6	38,9
63	12,6	37,8	10,5	42,0	8,5	46,0	7,0	49,0
75	15,0	45,0	12,5	50,0	10,1	54,7	8,3	58,3
90	18,0	54,0	15,0	60,0	12,2	65,7	10,0	70,0
110	22,0	66,0	18,3	73,3	14,9	80,3	12,2	85,6
125	25,0	75,0	20,8	83,3	16,9	91,2	13,9	97,2
140	28,0	84,0	23,3	93,3	18,9	102,2	15,6	108,9
160	32,0	96,0	26,7	106,7	21,6	116,8	17,8	124,4
Φ exterior (mm)	Serie 5		Serie 6,3		Serie 8		Serie 10	
	Espesor	Φ int.	Espesor	Φ int.	Espesor	Φ int.	Espesor	Φ int.
12	1,1	9,8	0,9	10,2	0,7	10,6	0,6	10,9
16	1,5	13,1	1,2	13,6	0,9	14,1	0,8	14,5
20	1,8	16,4	1,5	17,1	1,2	17,6	1,0	18,1
25	2,3	20,5	1,8	21,3	1,5	22,1	1,2	22,6
32	2,9	26,2	2,4	27,3	1,9	28,2	1,5	29,0
40	3,6	32,7	2,9	34,1	2,4	35,3	1,9	36,2
50	4,5	40,9	3,7	42,6	2,9	44,1	2,4	45,2
63	5,7	51,5	4,6	53,7	3,7	55,6	3,0	57,0
75	6,8	61,4	5,5	64,0	4,4	66,2	3,6	67,9
90	8,2	73,6	6,6	76,8	5,3	79,4	4,3	81,4
110	10,0	90,0	8,1	93,8	6,5	97,1	5,2	99,5
125	11,4	102,3	9,2	106,6	7,4	110,3	6,0	113,1

Ilustración 63. Diámetros estándar para tuberías termoplásticas (Fuente: [39]).

Una vez obtenido este diámetro, y con el caudal recién calculado se obtienen las pérdidas de carga con la ecuación 72 (formula de Darcy-Weisbach) que depende del coeficiente de fricción que se deberá de obtener con la ilustración 64 (Diagrama de Moody) a partir del número de Reynolds obtenido con la ecuación 73.

$$h_f = 0,0826 \cdot f \cdot \frac{Q^2}{D^5} \cdot L \quad (\text{ec. 72})$$

Donde:

h_f : Pérdidas de carga en las tuberías de ACS (*m. c. a.*)

f : Coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach

Q : Caudal de la tubería (m^3/s)

D : Diámetro interior de la tubería (m)

L : Longitud de la tubería desde la caldera hasta el punto más alejado (m)

$$Re = \frac{\rho \cdot D \cdot v}{\mu} \quad (\text{ec. 73})$$

Donde:

Re : Número de Reynolds

ρ : Densidad del agua (kg/m^3)

D : Diámetro de la tubería (m)

v : Velocidad del fluido (m/s)

μ : Viscosidad dinámica del agua a 40°C ($6,53 \cdot 10^{-4} kg/m \cdot s$)

Sustituyendo en la ecuación 73 se obtiene el número de Reynolds, con este valor y la rugosidad de la tubería de policloruro de vinilo (PVC) entre el diámetro, 0,0015/23,4 se calcula el coeficiente de fricción con el diagrama de Moody.

$$Re = \frac{1000 \cdot 23,4 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{6,53 \cdot 10^{-4}} = 35834,61 \quad (\text{ec. 73})$$

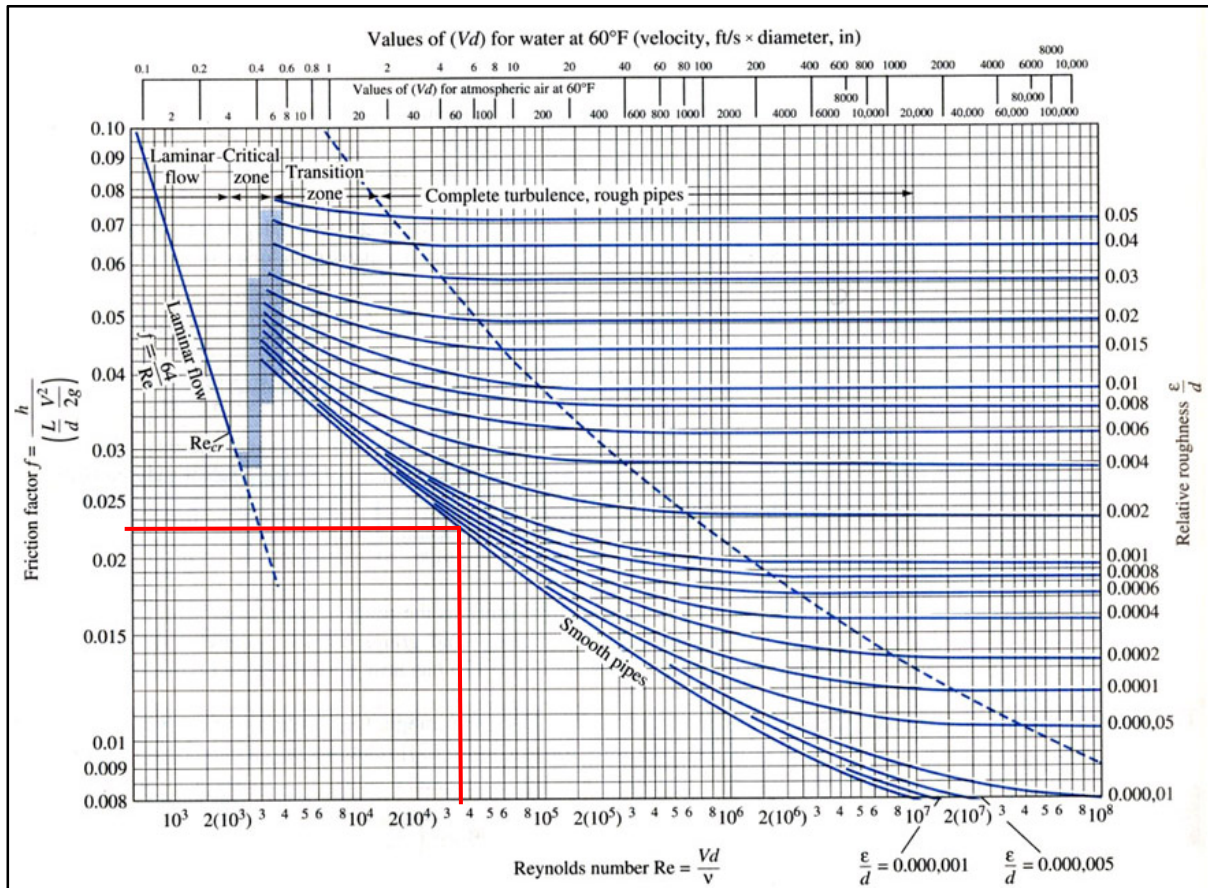


Ilustración 64. Diagrama de Moody (Fuente: [73]).

Del diagrama anterior se obtiene un valor para el coeficiente de fricción de:

$$f = 0,023$$

Se necesitará calcular también la distancia de la tubería al punto más alejado de la instalación, es decir desde la caldera hasta la toma de agua de la cocina de la planta baja que son 9 metros.

Por lo tanto, con todos los datos obtenidos se aplica la ecuación 72 y se obtienen unas pérdidas de carga de:

$$h_f = 0.0826 \cdot 0,023 \cdot \frac{(3,7 \cdot 10^{-4})^2}{(2,34 \cdot 10^{-2})^5} \cdot 9 = 0,33 \text{ m. c. a} \quad (\text{ec. 72})$$

A este valor habrá que sumarle un 20% adicional debido a otros elementos hidráulicos, como válvulas, codos, empalmes. Obteniendo un resultado final para las pérdidas de carga por fricción en las tuberías de ACS de:

$$h_{f_{ACS\ P.B}} = 0,4 \text{ m. c. a.}$$

A continuación, se calcula las pérdidas para el circuito de ACS de la planta superior variando la longitud al punto más alejado de la instalación, que en este caso serán 12 metros.

$$h_f = 0,0826 \cdot 0,023 \cdot \frac{(3,7 \cdot 10^{-4})^2}{(2,34 \cdot 10^{-2})^5} \cdot 12 = 0,44 \text{ m.c.a.} \quad (\text{ec. 72})$$

Aplicando el 20% adicional debido a otros elementos queda:

$$h_{f \text{ ACS P.1}} = 0,53 \text{ m.c.a.}$$

3.2 Dimensionado de las bombas

Una vez calculadas las pérdidas de carga para ambos circuitos se podrán dimensionar las bombas para ACS de los mismos.

Acudiendo al catálogo comercial del fabricante WILO con el caudal obtenido de $1,33 \text{ m}^3/\text{h}$ y las pérdidas para cada circuito y se selecciona las 2 bombas.

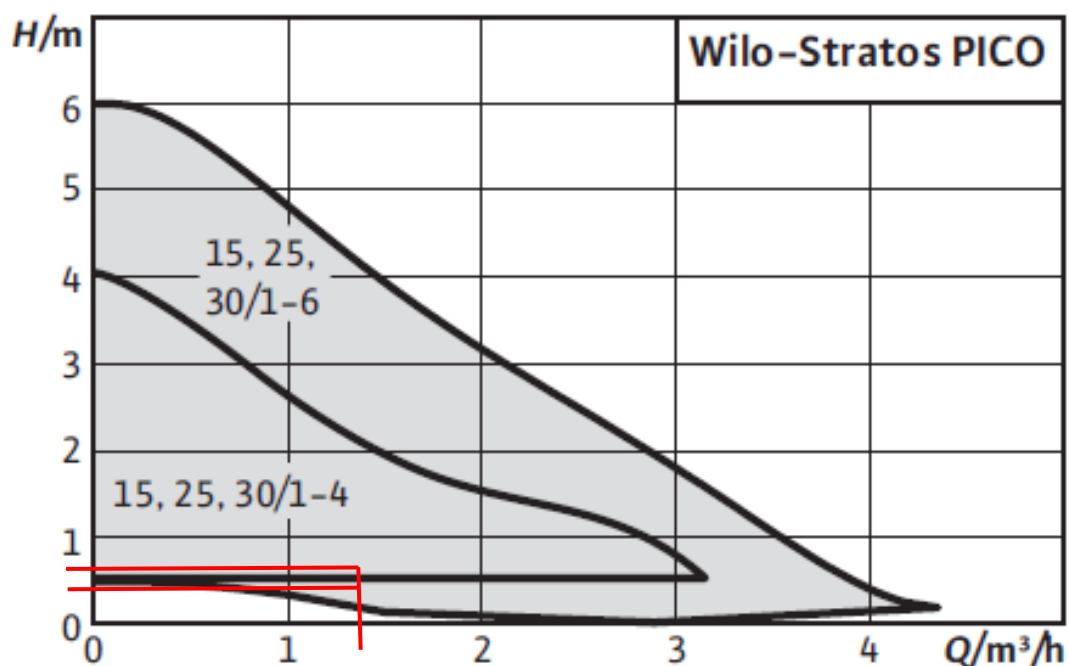


Ilustración 65. Curvas características bomba WILO Stratos PICO (Fuente: [75]).

Escogiendo del catálogo la bomba Wilo Stratos PICO 25/1-6-130 para el circuito de ACS de la planta baja y la bomba Wilo Stratos PICO 25/1-4-130 para el circuito

de ACS de la planta superior cuyas referencias en el catálogo son respectivamente 4216617 y 4216616.

Pérdidas circuito calefacción

A continuación, se van a calcular las pérdidas de carga a lo largo del circuito de calefacción, el cual es un circuito cerrado. En esta instalación al tener 2 plantas se colocaran 2 circuitos de calefacción uno para cada una de ellas, para evitar que a los últimos puntos de la instalación el agua llegue con una temperatura demasiado baja debido a las pérdidas de calor a lo largo de las tuberías, dificultando de esta forma que se alcance la temperatura de 21°C en todas las estancias.

El cálculo para ambos circuitos es prácticamente el mismo ya que la instalación va bordeando el perímetro de la casa y los radiadores están colocados debajo de las ventanas en todas las estancias. Debido a estas características el diámetro y caudal será el mismo en ambos circuitos, diferenciándose únicamente en los metros de tubería de ascenso a las plantas.

En primer lugar se va a realizar el cálculo del circuito para la planta baja de la vivienda.

Conocido los diámetros exterior 15mm e interior 13mm de las tuberías y que la velocidad de circulación del agua por el interior de las mismas es de 1m/s se procede a calcular el caudal. Estos datos son conocidos ya que la vivienda dispone de instalación de calefacción y por lo tanto va a ser aprovechada. Se comprueba que la velocidad de circulación dentro de las tuberías de calefacción está dentro de los límites recomendados por el CTE (0,5-1,5 m/s). El cálculo del caudal que pasa a través de la tubería se realiza aplicando la ecuación 71 explicada anteriormente.

$$Q = 1,33 \cdot 10^{-4} \cdot 1 = 1,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 0,133 \text{ l/s} \quad (\text{ec. 71})$$

A continuación, siguiendo el mismo procedimiento que para el circuito de ACS se calculará las pérdidas de carga.

Primero se obtiene el número de Reynolds con la ecuación 73:

$$R_e = \frac{1000 \cdot 0,013 \cdot 1}{0,000653} = 19908,11 \quad (\text{ec. 73})$$

Con este dato recién obtenido y con la rugosidad relativa del cobre 0,0015mm en función del diámetro interior de 13 mm se calcula el coeficiente de fricción con la ilustración 63.

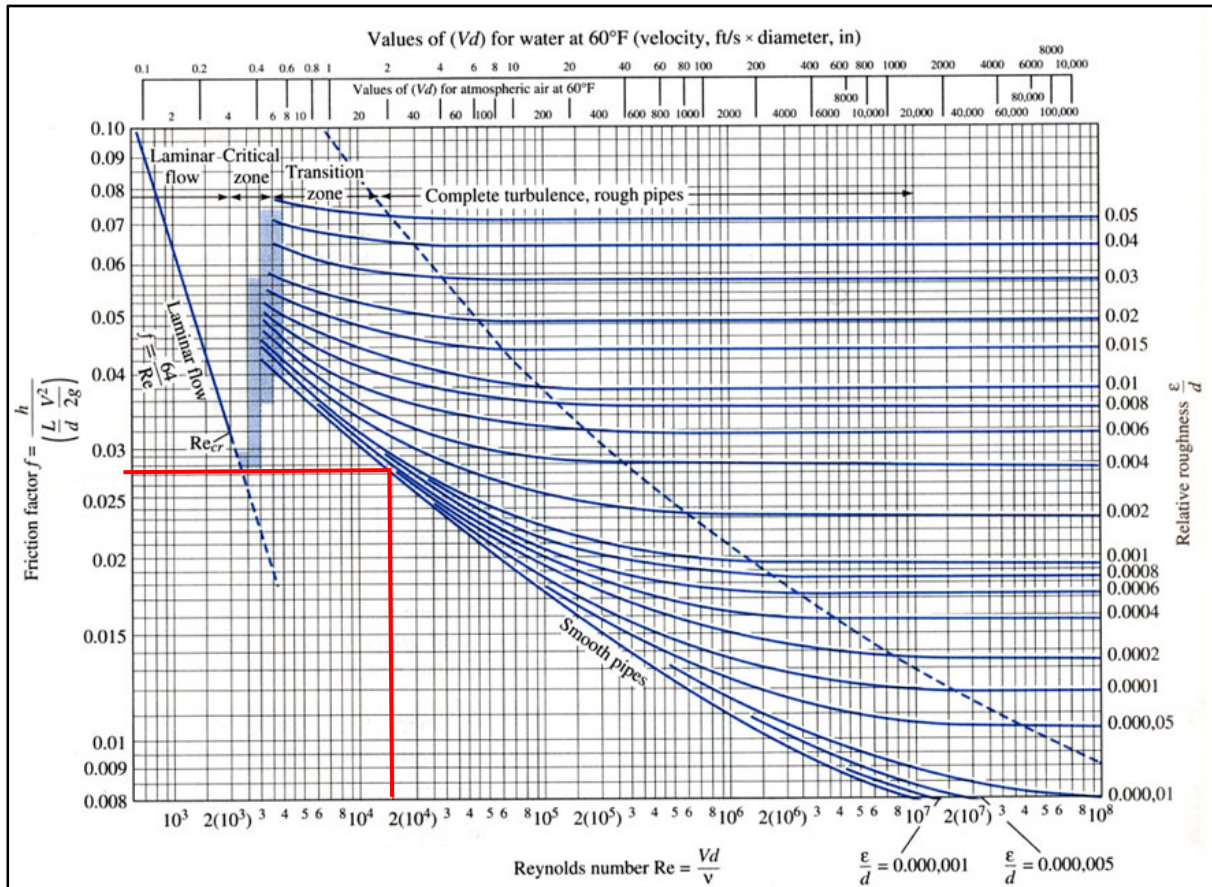


Ilustración 63. Diagrama de Moody (Fuente: [73]).

Se obtiene un factor de fricción $f = 0,027$.

A continuación, se calcula la longitud de tubería a lo largo de todo el circuito de calefacción (Documento 3.Plano 8) obteniendo una longitud de tubería de 35 m.

Con estos datos calculados ya se pueden obtener las pérdidas de carga con la ecuación 72.

$$h_f = 0.0826 \cdot 0,027 \cdot \frac{(1,33 \cdot 10^{-4})^2}{(1.3 \cdot 10^{-2})^5} \cdot 35 = 3,72 \text{ m.c.a} \quad (\text{ec. 72})$$

A este resultado se le debe aplicar un 30% adicional debido a otros elementos hidráulicos como pueden ser empalmes, codos, válvulas, incluso la fricción del interior de los radiadores, por tanto, las pérdidas de carga totales en el circuito de calefacción de la planta baja serán.

$$h_{f \text{ Calef.P.B}} = 4,84 \text{ m.c.a.}$$

Para el circuito de calefacción de la primera planta el procedimiento será el mismo excepto en el último calculo, donde interviene la longitud que para este circuito será 37 m. Por lo tanto, las pérdidas de carga serán:

$$h_f = 0.0826 \cdot 0,027 \cdot \frac{(1,33 \cdot 10^{-4})^2}{(1.3 \cdot 10^{-2})^5} \cdot 37 = 3,93 \text{ m.c.a} \quad (\text{ec. 72})$$

Que aplicándole el suplemento del 30% por lo explicado anteriormente da lugar a unas pérdidas de:

$$h_{f \text{ Calef.P.1}} = 5,11 \text{ m.c.a.}$$

Dimensionado de bombas

De la misma manera que se ha realizado para el circuito de ACS se calcula también para el de calefacción las bombas correspondientes a los circuitos de la planta baja y la primera planta. Se acude al catálogo del fabricante WILO con el caudal obtenido de $0,48 \text{ m}^3/\text{h}$ y las pérdidas de carga que se acaban de calcular.

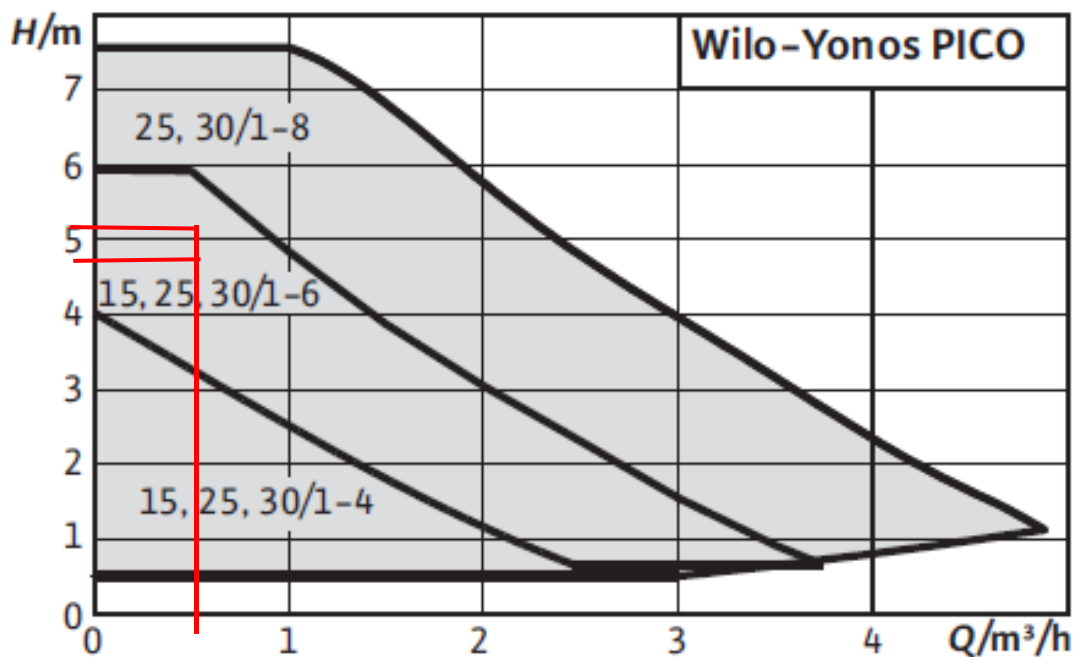


Ilustración 66. Curvas características bomba WILO Yonos PICO (Fuente: [75]).

Escogiendo del catálogo la bomba Wilo Yonos PICO 25/1-6-130 para el circuito de calefacción de la planta baja y el mismo modelo también para la planta superior cuya referencia en el catálogo es la 4215516.

4 CIRCUITO DE CALEFACCIÓN

4.1 Dimensionado del interacumulador

Para el dimensionado del intercumulador del sistema auxiliar, el primer paso es conocer el consumo punta. Según algunas estimaciones conservadoras en instalaciones que no tienen problemas de funcionamiento se establece que el consumo en la hora punta es el 50% del consumo medio a lo largo del día para viviendas y hoteles y el 30% para polideportivos.

Por lo tanto, en este caso en el que el consumo medio diario es 168 l/día el 50% serán 84 l/día. Los sistemas de acumulación se dimensionan para que el acumulador pueda abastecer el 80% de esta demanda punta, por lo tanto el volumen del interacumulador del sistema auxiliar será:

$$V_{Interacum.} = 0,8 \cdot 84 = 67,2 \text{ litros} \quad (\text{ec. 74})$$

Una vez obtenido este volumen se acude al catálogo del fabricante TERMICOL y se selecciona el intercumulador cuyo volumen sea el inmediatamente superior al que se ha obtenido. Por lo tanto, se selecciona el modelo ATN 80 SM de 80 litros cuya referencia en el catálogo es 602N0081M.

4.2 Volumen de silo de almacenamiento

Estimando que la caldera de biomasa esté en funcionamiento durante 2000 horas anuales que es más o menos lo que trabaja de media al año una caldera, si se establece que el sistema de calefacción este trabajando durante 5 meses al año, de noviembre a marzo. Se calculara las horas de funcionamiento diarias.

$$Funcionamiento\ diario = \frac{2000}{180} = 13,3 \text{ h/dia} \quad (\text{ec. 75})$$

Con el consumo máximo de la caldera de pellets de 4,8 kg/h trabajando a máxima potencia y las horas de funcionamiento diarias que se acaban de obtener se calculará el consumo de combustible diario.

$$Consumo\ diario = 4,8 \cdot 13,3 = 64 \text{ kg/dia} \quad (\text{ec. 76})$$

Dado que según se explica en la memoria, el RITE establece que el silo debe tener capacidad suficiente para almacenar el combustible necesario para que la caldera pueda funcionar durante 15 días trabajando a máxima potencia, se calcula la necesidad de combustible para cubrir la demanda quincenal.

$$Capacidad_{silo} = 64 \cdot 15 = 960 \text{ kg} \quad (\text{ec. 77})$$

Sí se convierte a unidades de volumen, con la densidad aparente de los pellets 650 kg/m³ queda:

$$V_{silo} = \frac{960}{650} = 1,48 \text{ m}^3 \quad (\text{ec. 78})$$

Las medidas del silo serán por lo tanto 1,5 m de alto por 1 m tanto de ancho como de profundidad, aunque de altura se le va a dar la altura del cuarto de calderas, es decir 3 m, aprovechando que el cuarto de calderas ya está construido.

ANEXO IV. CÁLCULOS INSTALACIÓN MINI-EÓLICA

1 CÁLCULO DE POTENCIA

Se va a proceder al cálculo de la potencia que son capaces de aportar los aerogeneradores con las condiciones de viento que hay en el emplazamiento donde se van a ubicar. Para ello primero se van a calcular los parámetros de la distribución de Weibull correspondiente a los datos de viento obtenidos de la estación meteorológica más próxima a la vivienda. Con los registros de velocidades obtenidos para un año se ha obtenido para el rango de velocidades la frecuencia relativa de los distintos valores, como se puede observar en la siguiente tabla. A partir de los datos de velocidad y frecuencia acumulada como se ha explicado en la "Memoria. Apartado 8.3.4." se obtienen los valores x e y .

Una vez obtenidos los valores x e y se han representado como se muestra en la ilustración 30 de la memoria con el fin de obtener la pendiente de la recta y la ordenada en el origen. A partir de los parámetros que definen la relación lineal existente entre los valores x e y se han calculados los parámetros c y k para la distribución de la velocidad del viento a 10 m de altura, que es la altura a la que se han hecho las mediciones en la estación meteorológica. Esta altura de 10 m corresponde con la del buje del Aerogenerador 1 que será colocado para la producción de energía eléctrica con el fin de abastecer la demanda de la vivienda.

v (m/s)	nº veces	f relativa	F acumulada	y	x
				Ln (-ln(1-F))	ln v
0,556	535	1,98E-01	1,98E-01	-1,51E+00	-5,88E-01
0,833	485	1,79E-01	3,77E-01	-7,47E-01	-1,82E-01
1,111	290	1,07E-01	4,85E-01	-4,11E-01	1,05E-01
1,389	228	8,44E-02	5,69E-01	-1,72E-01	3,29E-01
1,667	212	7,85E-02	6,48E-01	4,23E-02	5,11E-01
1,944	127	4,70E-02	6,95E-01	1,71E-01	6,65E-01
2,222	172	6,37E-02	7,58E-01	3,51E-01	7,99E-01
2,500	151	5,59E-02	8,14E-01	5,21E-01	9,16E-01
2,778	115	4,26E-02	8,57E-01	6,64E-01	1,02
3,056	68	2,52E-02	8,82E-01	7,59E-01	1,12
3,333	76	2,81E-02	9,10E-01	8,79E-01	1,20
3,611	45	1,67E-02	9,27E-01	9,61E-01	1,28
3,889	23	8,51E-03	9,35E-01	1,01	1,36
4,167	32	1,18E-02	9,47E-01	1,08	1,43
4,444	14	5,18E-03	9,52E-01	1,11	1,49
4,722	19	7,03E-03	9,59E-01	1,16	1,55
5,000	21	7,77E-03	9,67E-01	1,23	1,61
5,278	15	5,55E-03	9,73E-01	1,28	1,66
5,556	5	1,85E-03	9,74E-01	1,30	1,71
5,833	21	7,77E-03	9,82E-01	1,39	1,76
6,111	12	4,44E-03	9,87E-01	1,46	1,81
6,389	11	4,07E-03	9,91E-01	1,54	1,85
6,667	4	1,48E-03	9,92E-01	1,58	1,90
6,944	3	1,11E-03	9,93E-01	1,61	1,94
7,222	5	1,85E-03	9,95E-01	1,67	1,98
7,500	3	1,11E-03	9,96E-01	1,72	2,01
7,778	1	3,70E-04	9,97E-01	1,74	2,05
8,056	1	3,70E-04	9,97E-01	1,76	2,09
8,333	2	7,40E-04	9,98E-01	1,81	2,12
9,722	1	3,70E-04	9,98E-01	1,84	2,27
10,833	2	7,40E-04	9,99E-01	1,92	2,38
11,944	1	3,70E-04	9,99E-01	1,98	2,48
12,778	1	3,70E-04	1,00	2,07	2,55

Tabla 49. Cálculos para la distribución de Weibull (Fuente: Elaboración propia).

Una vez obtenidos los parámetros de la distribución de Weibull para el viento se ha buscado un modelo de aerogenerador cuya velocidad de arranque fuera la menor posible, ya que el análisis del recurso eólico en la zona ha mostrado que la mayoría de los valores de velocidad registrados (Tabla 49) están por debajo de 3 m/s. Una vez seleccionado el mini-aerogenerador a partir de su curva de potencia se ha obtenido una estimación de la energía anual que podría ser producida por un aerogenerador, según lo indicado en la "Memoria. Apartado 8.3.4.". Estos cálculos se muestran en las tablas que aparecen a continuación:

Aerogenerador 1 (10 m)				
Weibull (10m)	k (10m)	1,10	c (10m)	1,64
Intervalo	v (m/s)	Probabilidad p(v)	Potencia P(v) (W)	p(v) * P(v) * dv
0-0,5	0,25	4,91E-01	0	0
0,5-1	0,75	4,05E-01	0	0
1-1,5	1,25	3,10E-01	0	0
1,5-2	1,75	2,30E-01	0	0
2-2,5	2,25	1,68E-01	0	0
2,5-3	2,75	1,21E-01	30	1,81
3-3,5	3,25	8,61E-02	90	3,88
3,5-4	3,75	6,10E-02	150	4,57
4-4,5	4,25	4,29E-02	210	4,51
4,5-5	4,75	3,00E-02	270	4,06
5-5,5	5,25	2,09E-02	450	4,71
5,5-6	5,75	1,45E-02	630	4,57
6-6,5	6,25	1,00E-02	810	4,06
6,5-7	6,75	6,91E-03	990	3,42
7-7,5	7,25	4,74E-03	1170	2,77
7,5-8	7,75	3,24E-03	1330	2,16
8-8,5	8,25	2,21E-03	1490	1,65
8,5-9	8,75	1,51E-03	1650	1,24
9-9,5	9,25	1,02E-03	1810	9,26E-01
9,5-10	9,75	6,93E-04	1970	6,82E-01
10-10,5	10,25	4,68E-04	2030	4,75E-01
10,5-11	10,75	3,16E-04	2090	3,30E-01
11-11,5	11,25	2,13E-04	2150	2,28E-01
11,5-12	11,75	1,43E-04	2210	1,58E-01
12-12,5	12,25	9,58E-05	2270	1,09E-01
12,5-13	12,75	6,41E-05	2315	7,42E-02
13-13,5	13,25	4,28E-05	2360	5,06E-02
13,5-14	13,75	2,86E-05	2405	3,44E-02
14-14,5	14,25	1,90E-05	2450	2,33E-02
14,5-15	14,75	1,27E-05	2495	1,58E-02
A (W)				46,52
B (W)				3,08E-02
Potencia (kW)				4,66E-02
Energía año (kwh/año)				407,78
Energía mes (kwh/mes)				33,98

Tabla 50. Potencia y energía del Aerogenerador 1 (Fuente: Elaboración propia).

Para el cálculo de la potencia se calcula como la suma del término A y el término B (ec. 48). Si por ejemplo se calcula A para el intervalo de velocidad 2,5-3 m/s, tomando como (v) la velocidad intermedia de este intervalo, es decir 2,75 m/s, la probabilidad para esta velocidad y tomando como amplitud del intervalo o diferencial de la velocidad (dv) 0,5 se calcula el término A para esta velocidad con la ecuación 79, ya que el termino A total sería repetir el cálculo como se puede

ver en la tabla para todos los intervalos de velocidad desde la velocidad de arranque hasta la nominal.

$$A(2,75) = p(2,75) \cdot P(2,75)dv = 0,12 \cdot 30 \cdot 0,5 = 1,81 W \quad (\text{ec. 79})$$

Y para el cálculo del término B, utilizando los parámetros de Weibull para cada aerogenerador, la potencia nominal del aerogenerador (2500 W) y la velocidad nominal (15 m/s) y de desconexión (20 m/s) se obtiene:

$$B = 2500 \cdot \left[e^{-\left(\frac{15}{1,64}\right)^{1,1}} - e^{-\left(\frac{20}{1,64}\right)^{1,1}} \right] = 3,08 \cdot 10^{-2} \quad (\text{ec. 80})$$

Por lo tanto con el sumatorio del término A repitiendo el cálculo con la ecuación 79 para el resto de velocidades hasta la nominal (15 m/s) y con el término B calculado con la ecuación 80 si se aplica la ecuación 48 se obtendría la potencia que es capaz de aportar el aerogenerador en Vatios.

$$\langle P \rangle = \int_{v_A}^{v_N} p(v) \cdot P(v)dv + P_N \quad (\text{ec. 48})$$

$$\cdot \int_{v_N}^{v_D} p(v)dv = A + B = 46,52 + 3,08 \cdot 10^{-2} = 46,55 W$$

Aerogenerador 2 (8,5 m)				
Weibull (10m)	k (8,5m)	1,08	c (8,5m)	1,56
Intervalo	v (m/s)	Probabilidad p(v)	Potencia P(v) (W)	p(v) * P(v) * dv
0-0,5	0,25	5,21E-01	0	0
0,5-1	0,75	4,15E-01	0	0
1-1,5	1,25	3,10E-01	0	0
1,5-2	1,75	2,25E-01	0	0
2-2,5	2,25	1,61E-01	0	0
2,5-3	2,75	1,14E-01	30	1,72
3-3,5	3,25	8,04E-02	90	3,62
3,5-4	3,75	5,62E-02	150	4,21
4-4,5	4,25	3,90E-02	210	4,10
4,5-5	4,75	2,70E-02	270	3,65
5-5,5	5,25	1,86E-02	450	4,18
5,5-6	5,75	1,28E-02	630	4,02
6-6,5	6,25	8,73E-03	810	3,54
6,5-7	6,75	5,95E-03	990	2,95
7-7,5	7,25	4,05E-03	1170	2,37
7,5-8	7,75	2,75E-03	1330	1,83
8-8,5	8,25	1,86E-03	1490	1,38
8,5-9	8,75	1,26E-03	1650	1,04
9-9,5	9,25	8,46E-04	1810	7,65E-01
9,5-10	9,75	5,69E-04	1970	5,60E-01
10-10,5	10,25	3,82E-04	2030	3,88E-01
10,5-11	10,75	2,56E-04	2090	2,67E-01
11-11,5	11,25	1,71E-04	2150	1,84E-01
11,5-12	11,75	1,14E-04	2210	1,26E-01
12-12,5	12,25	7,62E-05	2270	8,65E-02
12,5-13	12,75	5,07E-05	2315	5,87E-02
13-13,5	13,25	3,37E-05	2360	3,98E-02
13,5-14	13,75	2,24E-05	2405	2,69E-02
14-14,5	14,25	1,49E-05	2450	1,82E-02
14,5-15	14,75	9,84E-06	2495	1,23E-02
A (W)				41,13
B (W)				2,37E-02
Potencia (kW)				4,12E-02
Energía año (kWh/año)				360,50
Energía mes (kWh/mes)				30,04

Tabla 51. Potencia y energía del Aerogenerador 2 (Fuente: Elaboración propia).

Aerogenerador 3 (11 m)				
Weibull (11m)	k (10m)	1,10	c (10m)	1,69
Intervalo	v (m/s)	Probabilidad p(v)	Potencia P(v) (W)	p(v) * P(v) * dv
0-0,5	0,25	4,73E-01	0	0
0,5-1	0,75	3,99E-01	0	0
1-1,5	1,25	3,09E-01	0	0
1,5-2	1,75	2,32E-01	0	0
2-2,5	2,25	1,71E-01	0	0
2,5-3	2,75	1,24E-01	30	1,87
3-3,5	3,25	8,95E-02	90	4,03
3,5-4	3,75	6,39E-02	150	4,79
4-4,5	4,25	4,53E-02	210	4,76
4,5-5	4,75	3,20E-02	270	4,31
5-5,5	5,25	2,24E-02	450	5,04
5,5-6	5,75	1,56E-02	630	4,93
6-6,5	6,25	1,09E-02	810	4,40
6,5-7	6,75	7,53E-03	990	3,73
7-7,5	7,25	5,20E-03	1170	3,04
7,5-8	7,75	3,57E-03	1330	2,38
8-8,5	8,25	2,45E-03	1490	1,83
8,5-9	8,75	1,68E-03	1650	1,38
9-9,5	9,25	1,14E-03	1810	1,03E+00
9,5-10	9,75	7,77E-04	1970	7,66E-01
10-10,5	10,25	5,28E-04	2030	5,35E-01
10,5-11	10,75	3,57E-04	2090	3,73E-01
11-11,5	11,25	2,41E-04	2150	2,59E-01
11,5-12	11,75	1,63E-04	2210	1,80E-01
12-12,5	12,25	1,09E-04	2270	1,24E-01
12,5-13	12,75	7,35E-05	2315	8,51E-02
13-13,5	13,25	4,93E-05	2360	5,82E-02
13,5-14	13,75	3,30E-05	2405	3,97E-02
14-14,5	14,25	2,20E-05	2450	2,70E-02
14,5-15	14,75	1,47E-05	2495	1,83E-02
A (W)				49,99
B (W)				3,60E-02
Potencia (kW)				5,00E-02
Energía año (kWh/año)				438,20
Energía mes (kWh/mes)				36,52

Tabla 52. Potencia y energía del Aerogenerador 3 (Fuente: Elaboración propia).

Se ha calculado la energía eléctrica consumida por la vivienda a partir de los consumos obtenidos del histórico de facturas del que se dispone durante un año natural. Este consumo se ha expresado en la siguiente tabla.

Consumo eléctrico vivienda (kWh)	
Mes	Consumo Total (kWh)
Enero	457
Febrero	385
Marzo	434
Abril	386
Mayo	405
Junio	345
Julio	292
Agosto	287
Septiembre	312
Octubre	399
Noviembre	376
Diciembre	398
Consumo anual (kWh)	4476
Consumo medio mensual (kWh)	373
Consumo medio diario (kWh)	12,26

Tabla 53. Consumo eléctrico de la vivienda (Fuente: Elaboración propia).

2 CÁLCULO DE CONDUCTORES

Se va a proceder al dimensionado de las secciones de conductor de cobre de los diferentes circuitos que forman el sistema basándose en el REBT [53] y la norma UNE-HD 60364-5-52 [52].

Se calculará la sección de conductor para cada uno de los 4 circuitos que conforman el sistema eólico. Se utilizará el conductor AFUMEX CLASS 1000 V (AS) (RZ1-K), conductor termoestable con recubrimiento de polietileno reticulado (XLPE), que cumple con las exigencias de la Instrucción Técnica Complementaria decimocuarta del RBET (ITC-BT-14) [57].

2.1 Circuito 1: Aerogenerador – Controlador de carga

Este circuito trabaja con corriente alterna trifásica a una tensión de 400 V. La norma UNE HD 60364-5-52 [52] establece una clasificación tipo en función de los modos de instalación para así obtener la sección del conductor. Al tener 3 aerogeneradores ubicados en distintos lugares no tendrán ni la misma tipología de instalación ni la misma longitud de conductor, por lo que se deberá hacer este cálculo para cada uno de los 3 aerogeneradores.

Circuito Aerogenerador 1 – Controlador de carga

Parte del circuito irá en un conducto fijado a la superficie de la pared de mampostería, en cuyo interior estará colocado un conductor multipolar. Posteriormente el conductor multipolar irá en el interior de un conducto enterrado. Según la clasificación de la norma UNE HD 60364-5-52 [52] el primer tramo atendería a la instalación tipo B2 y el segundo tramo a la D1. Se va a proceder a calcular la sección para cada uno de estos dos tramos. Se puede ver la instalación de forma gráfica en el (Documento 3. Plano 10).

1^{er} Tramo

Para el cálculo de la sección de este conductor primero se aplicará el criterio de intensidad admisible para lo cual se deberá calcular antes de nada la corriente que va a circular por este aplicando la siguiente ecuación 52, teniendo en cuenta que el aerogenerador es de 3 kW de potencia y genera en corriente alterna trifásica a 400 V de tensión.

$$I_1 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos(\varphi)} = \frac{3000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 1} = 4,33 \text{ A} \quad (\text{ec. 52})$$

Con este valor de intensidad se acude a la norma UNE-HD 60364-5-52 [52] y se selecciona la sección adecuada para el tipo de instalación B2 escogiendo la intensidad superior a la que se acaba de obtener (ilustración 68).

Método de referencia de la tabla B.52.1	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento																	
A1		PVC3	PVC2				XLPE 3		XLPE 2									
A2	PVC3	PVC2			XLPE 3		XLPE 2											
B1				PVC3		PVC2				XLPE 3				XLPE 2				
B2									XLPE 3	XLPE 2								
C						PVC3			PVC2		XLPE 3			XLPE 2				
E							PVC3			PVC2			XLPE 3		XLPE 2			
F									PVC3				PVC2		XLPE 3		XLPE 2	
1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13	
Sección mm ² Cobre																		
1,5									16,5	17	17,5	19	20	20	20	21	23	-
2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32	-
4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44	-
6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57	-
10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78	-
16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104	-
25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115	122	135	146
35	-	-	-	95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168	182
50	-	-	-	116	121	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174	188	204	220
70	-	-	-	148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223	243	262	282
95	-	-	-	180	188	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271	298	320	343
120	-	-	-	207	217	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314	350	373	397
150	-	-	-	-	-	247	259	276	289	299	313	322	337	343	359	401	430	458
185	-	-	-	-	-	281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	493	523
240	-	-	-	-	-	330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	583	617

Ilustración 67. Sección de los conductores según la tipología de la instalación (Fuente: [52]).

Con lo que se obtiene de la ilustración anterior una sección de conductor para este criterio de 1,5 mm².

A continuación, se debe calcular la sección aplicando el criterio de la caída de tensión aplicando una caída de tensión del 0,5% entre el aerogenerador y el controlador de carga para la tensión del circuito trifásico, 400 V.

$$e = V \cdot cdt\% = 400 \cdot 0,005 = 2 \text{ V} \quad (\text{ec. 55})$$

Una vez obtenida esta caída de tensión de 2 V en el circuito, se calculará la sección del conductor para el presente circuito de 11,5 m de longitud y 3 kW de potencia, potencia del aerogenerador.

$$S_{cdt} = \frac{L \cdot P}{\gamma \cdot e \cdot V} = \frac{11,5 \cdot 3000}{45,5 \cdot 2 \cdot 400} = 0,95 \text{ mm}^2 \quad (\text{ec. 56})$$

Obteniendo un valor de 0,95 mm², por lo que la sección del conductor normalizada superior a este valor será 1,5 mm² que es igual a la obtenida con el primer criterio, por lo tanto, la sección de este circuito será de 1,5 mm².

En el caso de que una de las 2 hubiera sido mayor que la otra siempre se escogerá la mayor de las 2 ya que será la que cumple los 2 criterios.

Por último, se obtendrá la intensidad máxima de cortocircuito, para circuitos de entre 0,1 – 5s. Se toma un valor de 0,1s como tiempo de cortocircuito ya que en baja tensión las protecciones limitan mucho la duración de los cortocircuitos. Debido a esto es que el criterio de la máxima intensidad de cortocircuito no tenga mucha relevancia en baja tensión según el Anexo 2 de la Guía técnica de aplicación de baja tensión [76]. Por lo tanto, acudiendo a la norma UNE-HD 60364-4-43 [59] y utilizando la siguiente tabla se calcula la intensidad máxima de cortocircuito.

SECCIÓN NOMINAL mm ²	DURACIÓN DEL CORTOCIRCUITO EN SEGUNDOS (t)								
	0,1	0,2	0,3	0,5	1	1,5	2	2,5	3
0,5	76	160	131	101	72	58	51	45	41
0,75	9	240	196	152	107	88	76	68	62
1	132	320	261	202	143	117	101	90	83
1,5	678	480	392	303	215	175	152	136	124
2,5	1131	799	653	506	358	292	253	226	206
4	1809	1279	1044	809	572	467	404	362	330
6	2713	1919	1566	1213	858	701	607	543	495
10	4522	3198	2611	2022	1430	1168	1011	904	826
16	7235	5116	4177	3236	2288	1868	1618	1447	1321
25	11305	7994	6527	5056	3575	2919	2528	2261	2064
35	15827	11192	9138	7078	5005	4087	3539	3165	2890
50	22610	15988	13054	10112	7150	5838	5056	4522	4128
70	31654	22383	18276	14156	10010	8173	7078	6331	5779
95	42960	30377	24803	19212	13585	11092	9606	8592	7843
120	54265	38371	31330	24268	17160	14011	12134	10853	9907
150	67831	47964	39162	30335	21450	17514	15167	13566	12384
185	83658	59155	48300	37413	26455	21600	18707	16732	15274
240	108529	76742	62659	48536	34320	28022	24268	21706	19815
300	135662	95927	78324	60670	42900	35028	30335	27132	24768

Ilustración 68. Intensidades de cortocircuito para conductores de cobre con aislamiento termoestable (Fuente: [77]).

$$I_{cc} = 678 \text{ A}$$

2º Tramo

El cálculo del primer criterio, intensidad admisible, da como resultado la misma intensidad que para el 1º tramo, 4,33 A. Sin embargo, el tipo de instalación es D1 por lo que se deberá acudir nuevamente a la norma UNE 60364-5-52 [52] pero a la tabla correspondiente a este tipo de instalación, y elegir la intensidad inmediatamente superior a la obtenida, intensidad asociada a la sección del conductor. Representada a continuación como ilustración 69, de donde se obtendrá una sección de 1,5 mm².

Método de instalación	Sección mm ²	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento			
		PVC2	PVC3	XLPE2	XLPE3
D1/D2	Cobre				
	1,5				21
	2,5	27	22	32	27
	4	36	29	42	35
	6	44	37	53	44
	10	59	49	70	58
	16	76	63	91	75
	25	98	81	116	96
	35	118	97	140	117
	50	140	115	166	138
	70	173	143	204	170
	95	205	170	241	202
	120	233	192	275	230
	150	264	218	311	260
	185	296	245	348	291
	240	342	282	402	336
	300	387	319	455	380

Ilustración 69. Sección de los conductores según la tipología de la instalación para tipos D1/D2 (Fuente: [52]).

A continuación, si se aplica el criterio de caída de tensión se obtiene una sección de:

$$e = V \cdot cdt\% = 400 \cdot 0,005 = 2 \text{ V} \quad (\text{ec. 55})$$

$$S_{cdt} = \frac{L \cdot P}{\gamma \cdot e \cdot V} = \frac{13 \cdot 3000}{45,5 \cdot 2 \cdot 400} = 1,08 \text{ mm}^2 \quad (\text{ec. 57})$$

La sección del conductor normalizada superior al valor de 1,08 mm² obtenido es de 1,5 mm² igual a la obtenida con el primer criterio, por lo tanto, la sección de este circuito debiera ser 1,5 mm². Sin embargo, según la ITC-BT-07 [61] para líneas subterráneas con conductores de cobre la sección mínima de conductor es de 6 mm².

En este segundo tramo la intensidad máxima de cortocircuito admisible obtenida de la ilustración 69 será:

$$I_{cc} = 2713 \text{ A}$$

Circuito Aerogenerador 2 – Controlador de carga

Desde este segundo aerogenerador partirá un conductor multipolar dispuesto bajo canalización superficial sobre pared de mampostería. Instalación tipo B2 según la clasificación de la norma UNE-HD 60364-5-52 [52].

El procedimiento de cálculo será el mismo que para el tramo 1 del circuito del aerogenerador 1. En primer lugar se obtiene la sección por el criterio de la intensidad admisible, resultando el mismo valor de intensidad y por tanto la misma sección de conductor, 1,5 mm².

A continuación, aplicando el criterio de caída de tensión, con una caída máxima del 0,5%, se obtiene la sección de conductor.

$$e = V \cdot cdt\% = 400 \cdot 0,005 = 2 V \quad (\text{ec. 55})$$

$$S_{cdt} = \frac{L \cdot P}{\gamma \cdot e \cdot V} = \frac{14,5 \cdot 3000}{45,5 \cdot 2 \cdot 400} = 1,2 \text{ mm}^2 \quad (\text{ec. 56})$$

La sección del conductor normalizada superior al valor de 1,20 mm² obtenido, es de 1,5 mm² igual a la obtenida con el primer criterio, por lo tanto, la sección de este circuito será de 1,5 mm².

La intensidad máxima de cortocircuito para un cortocircuito de 0,1 s de duración será la misma que la anteriormente calculada en el primer tramo del circuito del aerogenerador 1, ya que la sección de conductor es igual y tendrá un valor de 678 A.

Circuito Aerogenerador 3 – Controlador de carga

Este circuito estará dividido en 2 tramos al igual que el circuito del aerogenerador 1. El primer tramo tendrá una instalación formada por un cable multiconductor en conducto superficial sobre pared de mampostería, instalación tipo B2. Y el segundo tramo tendrá una instalación formada por un cable multiconductor en conducto enterrado cerrado, instalación tipo D1.

A continuación, se va a proceder a realizar el cálculo de ambos tramos por separado:

1^{er} Tramo

Primero se va aplicar el criterio de la intensidad admisible. Este cálculo es igual al realizado en el primer tramo del aerogenerador 1, obteniendo una intensidad de 4,33 A y una sección de conductor de 1,5 mm² (ilustración 67).

A continuación, se aplica el criterio de la caída de tensión para una caída máxima del 0,5% y se obtiene la sección.

$$e = V \cdot cdt\% = 400 \cdot 0,005 = 2 \text{ V} \quad (\text{ec. 55})$$

$$S_{cdt} = \frac{L \cdot P}{\gamma \cdot e \cdot V} = \frac{14 \cdot 3000}{45,5 \cdot 2 \cdot 400} = 1,15 \text{ mm}^2 \quad (\text{ec. 56})$$

La sección del conductor normalizada superior al valor de 1,15 mm² obtenido, es de 1,5 mm², siendo igual a la obtenida con el primer criterio, por lo tanto, la sección de este circuito será de 1,5 mm².

La intensidad máxima de cortocircuito para un cortocircuito de 0,1 s de duración será la misma que la anteriormente calculada en el primer tramo del circuito del aerogenerador 1, ya que la sección de conductor es igual, y tendrá un valor de 678 A.

2º Tramo

Primero se aplica el criterio de la intensidad admisible, procedimiento igual al 2º tramo del circuito del aerogenerador 1. Obteniendo una intensidad de 4,33 A y una sección de 1,5 mm² (ilustración 69).

A continuación, se debe aplicar el criterio de la caída de tensión, para una caída máxima de tensión del 0,5 %.

$$e = V \cdot cdt\% = 400 \cdot 0,005 = 2 \text{ V} \quad (\text{ec. 55})$$

$$S_{cdt} = \frac{L \cdot P}{\gamma \cdot e \cdot V} = \frac{6 \cdot 3000}{45,5 \cdot 2 \cdot 400} = 0,5 \text{ mm}^2 \quad (\text{ec. 56})$$

La sección del conductor normalizada superior al valor de 0,50 mm² obtenido, es de 1,5 mm², siendo igual a la obtenida con el primer criterio, por lo tanto, la sección de este circuito sería de 1,5 mm², pero como se ha indicado anteriormente la ITC-BT-07 [61] exige una sección mínima de 6 mm².

La intensidad máxima de cortocircuito será también la misma que para el aerogenerador 1, es decir, 2713 A.

2.2 Circuito 2: Controlador de carga – Inversor

Este circuito trabajará con corriente continua a una tensión de 24 V. Tendrá una instalación de cable multiconductor fijado sobre pared sin espaciarlo de la misma, tipo de instalación C. Además, estará en el interior de un pequeño habitáculo donde se ubicarán el controlador de carga, el inversor y el banco de baterías.

Por otro lado, en este circuito la caída máxima de tensión debe ser como máximo del 1,5% según las especificaciones de la ITC-BT-40 [54].

Para el cálculo de la sección del conductor se aplicará primero el criterio de la intensidad admisible. Calculando la intensidad con la ecuación 53 para la potencia de 9 kW al ser esta la suma de la potencia de los 3 aerogeneradores y la tensión de 24 en corriente continua:

$$I_2 = \frac{P}{V} = \frac{9000}{24} = 375 \text{ A} \quad (\text{ec. 53})$$

Obteniendo una intensidad de 375 A, con esta intensidad se acude a la ilustración 68 que aparece a continuación, y para el método C, conductor de XLPE y 2 conductores (fase y neutro) se selecciona la intensidad inmediatamente superior a la obtenida, intensidad asociada a la sección que se escogerá.

Método de referencia de la tabla B.52.1	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento																	
A1		PVC3	PVC2				XLPE 3		XLPE 2									
A2	PVC3	PVC2			XLPE 3		XLPE 2											
B1				PVC3		PVC2				XLPE 3				XLPE 2				
B2			PVC3	PVC2					XLPE 3		XLPE 2							
C															XLPE 3	XLPE 2		
E								PVC3				PVC2			XLPE 3		XLPE 2	
F										PVC3				PVC2		XLPE 3	XLPE 2	
1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b		12	13
Sección mm ² Cobre																		
1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	15,5	16	16,5	17	17,5	19	20	20	20		23	-
2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28		32	-
4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38		44	-
6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49		57	-
10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68		78	-
16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91		104	-
25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115		135	146
35	-	-	-	95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143		168	182
50	-	-	-	116	121	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174		204	220
70	-	-	-	148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223		262	282
95	-	-	-	180	188	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271		320	343
120	-	-	-	207	217	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314		373	397
150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	359	401	430	458
185	-	-	-	-	-	281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	493	523
240	-	-	-	-	-	330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	583	617

Ilustración 67. Sección de los conductores según la tipología de la instalación (Fuente: [52]).

El valor obtenido para la sección es de 150 mm² ya que es la que puede soportar una intensidad inmediatamente superior a la obtenida del cálculo anterior.

A continuación, se aplicara el criterio de la caída de tensión para obtener así la sección del conductor.

$$e = V \cdot cdt\% = 24 \cdot 0,015 = 0,36 V \quad (\text{ec. 55})$$

$$S_{cdt} = \frac{2 \cdot L \cdot P}{\gamma \cdot e \cdot V} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 9000}{45,5 \cdot 0,36 \cdot 24} = 91,58 \text{ mm}^2 \quad (\text{ec. 57})$$

Con este criterio sale una sección de 91,58 mm². La sección normalizada superior a esta sería 95 mm². Esta sección es menor a la calculada anteriormente con el

criterio de la intensidad admisible, 150 mm^2 , por lo tanto, se va a seleccionar la mayor de las 2, es decir 150 mm^2 .

Por último, se va a calcular la intensidad máxima de cortocircuito acudiendo a la ilustración 68 con la sección que se acaba de obtener.

SECCIÓN NOMINAL mm^2	DURACIÓN DEL CORTOCIRCUITO EN SEGUNDOS (t)								
	0,1	0,2	0,3	0,5	1	1,5	2	2,5	3
0,5	226	160	131	101	72	58	51	45	41
0,75	29	240	196	152	107	88	76	68	62
1	32	320	261	202	143	117	101	90	83
1,5	38	480	392	303	215	175	152	136	124
2,5	51	799	653	506	358	292	253	226	206
4	69	1279	1044	809	572	467	404	362	330
6	93	1919	1566	1213	858	701	607	543	495
10	122	3198	2611	2022	1430	1168	1011	904	826
16	155	5116	4177	3236	2288	1868	1618	1447	1321
25	205	7994	6527	5056	3575	2919	2528	2261	2064
35	272	11192	9138	7078	5005	4087	3539	3165	2890
50	360	15988	13054	10112	7150	5838	5056	4522	4128
70	484	22383	18276	14156	10010	8173	7078	6331	5779
95	640	30377	24803	19212	13585	11092	9606	8592	7843
120	825	38371	31330	24268	17160	14011	12134	10853	9907
150	1031	47964	39162	30335	21450	17514	15167	13566	12384
185	1308	59155	48300	37413	26455	21600	18707	16732	15274
240	1682	76742	62659	48536	34320	28022	24268	21706	19815
300	2162	95927	78324	60670	42900	35028	30335	27132	24768

Ilustración 68. Intensidades de cortocircuito para conductores de cobre con aislamiento termoestable (Fuente: [77]).

$$I_{cc} = 67831 \text{ A}$$

2.3 Circuito 3: Controlador de carga – Resistencia de derivación

Las condiciones de trabajo de este circuito serán las mismas que para el circuito número 2, ya que también se trabaja con corriente continua a 24 V de tensión que circulará por un conductor multipolar con recubrimiento de XLPE fijado sobre pared y sin espaciar de la misma, tipo de instalación C.

La caída de tensión máxima permitida será de 1,5% al igual que para el circuito anterior, según lo dictado por la ITC-BT-40 [54]. La longitud del conductor será de 2 metros.

Es decir, los cálculos serán los mismos por lo que se tendrá una sección de conductor de 150 mm² con una intensidad máxima de cortocircuito de 67831 A.

2.4 Circuito 4: Inversor – Cuadro eléctrico de la vivienda

Este circuito trabajará en corriente alterna monofásica a 230 V de tensión. El conductor utilizado será un conductor multipolar termoestable recubierto con XLPE enterrado en conducto cerrado, método de instalación D1. La caída de tensión máxima será también del 1,5%.

Para el cálculo de la sección se aplicará el criterio de la intensidad admisible, calculando la intensidad con la ecuación 54:

$$I_3 = \frac{P}{V \cdot \cos(\varphi)} = \frac{9000}{230 \cdot 1} = 39,13 \text{ A} \quad (\text{ec. 54})$$

Con la intensidad obtenida se acude a la ilustración 69 y se obtiene la sección del conductor, seleccionando el cable XLPE2 al ser monofásico.

Método de instalación	Sección mm ²	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento			
		PVC2	PVC3	XLPE2	XLPE3
D1/D2	Cobre				
	1,5	20	17	15	21
	2,5	27	22	32	27
	4	35	28	42	35
	6	44	37	53	44
	10	59	49	70	58
	16	76	63	91	75
	25	98	81	116	96
	35	118	97	140	117
	50	140	115	166	138
	70	173	143	204	170
	95	205	170	241	202
	120	233	192	275	230
	150	264	218	311	260
	185	296	245	348	291
	240	342	282	402	336
	300	387	319	455	380

Ilustración 69. Sección de los conductores según la tipología de la instalación para tipos D1/D2 (Fuente: [52]).

De la ilustración se obtiene una sección de conductor de 4 mm² ya que es la que soporta la intensidad inmediatamente superior a la obtenida con la ecuación.

A continuación, aplicando el criterio de la caída de tensión para una caída máxima del 1,5% se obtiene la sección:

$$e = V \cdot cdt\% = 230 \cdot 0,015 = 3,45 V \quad (\text{ec. 55})$$

$$S_{cdt} = \frac{2 \cdot L \cdot P}{\gamma \cdot e \cdot V} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 9000}{45,5 \cdot 3,45 \cdot 230} = 1,99 \text{ mm}^2 \quad (\text{ec. 57})$$

La sección normalizada inmediatamente superior a la sección obtenida de 1,99 mm², corresponde con una sección de 2,5 mm².

Dado que es menor que la obtenida con el primer criterio, la sección para el conductor sería la primera que se obtuvo, es decir 4 mm². Pero la ITC-BT-07 [61] exige una sección mínima de conductor para líneas subterráneas de 6 mm².

Por último, la intensidad máxima de cortocircuito para esta sección obtenida de la ilustración 68 tendrá un valor de 2713 A.

3 DIMENSIONADO DEL BANCO DE BATERÍAS

Se va a dimensionar el banco de baterías, calculando la capacidad total de acumulación:

$$C_{tot} = \frac{1,1 \cdot (N \cdot E_{Cons})}{P_{Des} \cdot V_N} = \frac{1,1 \cdot (3 \cdot 12260)}{0,8 \cdot 24} = 2107,2 \text{ Ah} \quad (\text{ec. 81})$$

Donde:

C_{tot} : Capacidad total de acumulación necesaria en la instalación (Ah)

N : Número de días sin aporte de energía (día)

E_{Cons} : Consumo de energía diario de la vivienda (Wh/día)

P_{Des} : Coeficiente de profundidad de descarga de la batería

V_N : Tensión nominal del sistema (V)

Sustituyendo en la ecuación para un total de 3 días sin aporte de energía y un consumo diario de la vivienda de 12260 Wh/día. Además de las condiciones de trabajo de la batería, tensión de 24 V y profundidad de descarga del 80%. Se obtiene la capacidad.

Por lo tanto, se necesita cubrir una capacidad de 2107. Con el modelo de batería seleccionado, Enersol-T del fabricante TUDOR de 24 V / 1150 Ah, considerando la tensión y la capacidad de almacenamiento se calcula cuantas baterías se deben colocar en serie y paralelo para poder abastecer este consumo.

$$N_{Baterias\ Serie} = \frac{V_N}{V_{bat}} = \frac{24}{24} = 1 \text{ Bateria} \quad (\text{ec. 82})$$

Donde:

$N_{Baterias\ Serie}$: Cantidad de baterías en serie que se deberán colocar en la instalación.

V_N : Tensión nominal del sistema (V)

V_{bat} : Tensión nominal de la batería (V)

$$N_{Baterias\ paralelo} = \frac{C_{tot}}{C_{bat}} = \frac{2107,2}{1150} = 1,83 \sim 2\ Baterias \quad (ec. 83)$$

Donde:

$N_{Baterias\ paralelo}$: Cantidad de baterías en paralelo que se deberán colocar en la instalación.

C_{tot} : Capacidad total de acumulación necesaria en la instalación (Ah)

C_{bat} : Capacidad de la batería (Ah)

4 CÁLCULO DEL NEUTRO

El conductor neutro para cada circuito se va a dimensionar en función de la instrucción técnica ITC-BT-06 [60] y la ITC-BT-07 [61] según lo explicado en la "Memoria. Apartado 8.3.6". Se tendrán por tanto las siguientes secciones de conductor neutro para cada uno de los 4 circuitos de la instalación.

Circuito 1: Aerogenerador – Controlador de carga

- Aerogenerador 1 – Controlador de carga

Tramo 1

Sección de conductor de fase: 1,5 mm²

Sección de conductor neutro: 1,5 mm²

Tramo 2

Sección de conductor de fase: 6 mm²

Sección de conductor neutro: 6 mm²

- Aerogenerador 2 – Controlador de carga

Sección de conductor de fase: 1,5 mm²

Sección de conductor neutro: 1,5 mm²

- Aerogenerador 3 – Controlador de carga

Tramo 1

Sección de conductor de fase: 1,5 mm²

Sección de conductor neutro: 1,5 mm²

Tramo 2

Sección de conductor de fase: 6 mm²

Sección de conductor neutro: 6 mm²

Circuito 2: Controlador de carga – Inversor

Sección de conductor de fase: 150 mm²

Sección de conductor neutro: 150 mm²

Circuito 3: Controlador de carga – Resistencia

Sección de conductor de fase: 150 mm²

Sección de conductor neutro: 150 mm²

Circuito 4: Inversor – Vivienda

Sección de conductor de fase: 6 mm²

Sección de conductor neutro: 6 mm²

5 CÁLCULO DE LA TOMA DE TIERRA

Para calcular las puestas a tierra de esta instalación se deberá primero obtener la resistencia del terreno según la ITC-BT-18 [62], donde están establecidas las resistividades del terreno en función de su naturaleza.

Como el sistema de puesta a tierra que se va a utilizar se compone de una pica vertical de 2 metros y un conductor de 4 m enterrado horizontalmente. Se va a calcular las resistencias parciales del terreno y luego la total aplicando el caso de dos resistencias en paralelo.

En primer lugar se debe obtener la resistividad del terreno. Este dato puede ser obtenido de la tabla 4 de la ITC-BT-18 [62], reflejada a continuación como ilustración 70.

Naturaleza del terreno	Valor medio de la resistividad Ohm.m
Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terraplenes cultivables poco fértiles y otros terraplenes	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables	3.000

Ilustración 70. Valores de la resistividad en función del terreno (Fuente [62]).

A continuación, con el valor obtenido de la resistividad para el terreno fértil y cultivable en el que se encuentra la vivienda, al ser una parcela dedicada años atrás al uso agrario se podrá calcular el valor de la resistencia del terreno.

- Resistencia para el caso de la pica vertical de 2 metros de longitud:

$$R_P = \frac{r}{n \cdot L} = \frac{50}{1 \cdot 2} = 25 \, \Omega \quad (\text{ec. 84})$$

Donde:

R_P : Resistencia de la tierra para la pica (Ω)

r : Resistividad del terreno ($\frac{\Omega}{m}$)

n : Número de picas

L : Longitud de la pica (m)

- Resistencia para el caso del conductor enterrado de 4 metros de longitud:

$$R_C = \frac{2 \cdot r}{L} = \frac{2 \cdot 50}{4} = 25 \, \Omega \quad (\text{ec. 85})$$

Donde:

R_C : Resistencia de la tierra para el conductor (Ω)

r : Resistividad del terreno ($\frac{\Omega}{m}$)

L : Longitud del conductor (m)

A continuación, se calcula la resistencia total para la puesta a tierra como 2 resistencias en paralelo obteniendo una resistencia total de 12,5 Ω .

$$R_T = 12,5 \, \Omega$$

Con la resistencia de $12,5 \, \Omega$ calculada anteriormente para la puesta a tierra y la I_{dca} que viene dada por la sensibilidad del diferencial, 300 mA para un diferencial estándar se comprueba si se cumple la condición de la tensión de contacto aplicando la ecuación 58.

$$U_{cca} = 0,3 \cdot 12,5 = 3,75 \leq 24 \quad (\text{ec. 58})$$

Como se puede ver se cumple la condición por lo que el sistema utilizado es válido, aunque se deberían comprobar los valores de la resistividad del terreno y la resistencia a tierra en el lugar exacto donde se van a colocar.

6 CÁLCULO DE LOS TUBOS/CANALIZACIONES

Acudiendo a la tabla 72 de la ITC-BT-21 [64] se selecciona la tabla adecuada para el modo de instalación de la canalización. En ella con la sección y el número de conductores que circulan a través de la canalización se obtiene el diámetro del tubo a instalar.

Circuito 1: Aerogenerador – Controlador de carga

- Aerogenerador 1 – Controlador de carga

Tramo 1: Canalización superficial fija, sección de conductor $1,5 \, \text{mm}^2$, 5 conductores.

Sección nominal de los conductores unipolares (mm^2)	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	1	2	3	4	5
1,5					16
2,5	12	12	16	16	20
4	12	16	20	20	20
6	12	16	20	20	25
10	16	20	25	32	32
16	16	25	32	32	32
25	20	32	32	40	40
35	25	32	40	40	50
50	25	40	50	50	50
70	32	40	50	63	63
95	32	50	63	63	75
120	40	50	63	75	75
150	40	63	75	75	--
185	50	63	75	--	--
240	50	75	--	--	--

Ilustración 71. Diámetro exterior de los tubos para canalización superficial (Fuente [64]).

Se obtiene de la ilustración anterior un diámetro de tubo de 16 mm.

Tramo 2: Canalización enterrada, sección 6 mm², 5 conductores.

Sección nominal de los conductores unipolares (mm ²)	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	< 6	7	8	9	10
1,5	25	32	32	32	32
2,5	32	32	40	40	40
4	40	40	40	40	50
6	50	50	50	63	63
10	63	63	63	75	75
16	63	75	75	75	90
25	90	90	90	110	110
35	90	110	110	110	125
50	110	110	125	125	140
70	125	125	140	160	160
95	140	140	160	160	180
120	160	160	180	180	200
150	180	180	200	200	225
185	180	200	225	225	250
240	225	225	250	250	--

Ilustración 72. Diámetro exterior de los tubos para canalización enterrada (Fuente [64]).

Se obtiene de la ilustración anterior un diámetro de tubo de 50 mm.

- Aerogenerador 2 – Controlador de carga

Canalización superficial fija, sección de conductor 1,5 mm², 5 conductores.
Repitiendo el proceso del aerogenerador 1, tramo 1 se obtiene una sección de tubo de 16 mm.

- Aerogenerador 3 – Controlador de carga

Tramo 1: Canalización superficial fija, sección de conductor 1,5 mm², 5 conductores.

Repitiendo el mismo proceso que para el tramo 1 del aerogenerador 1 se obtiene un diámetro de tubo de 16 mm.

Tramo 2: Canalización enterrada, sección de conductor 6 mm², 5 conductores.

Repitiendo el mismo proceso que para el tramo 1 del aerogenerador 1 se obtiene un diámetro de tubo de 50 mm.

Circuito 2: Controlador de carga – Inversor

No lleva canalización

Circuito 3: Controlador de carga – Resistencia

No lleva canalización

Circuito 4: Inversor – Vivienda

Canalización enterrada, sección de conductor 6 mm², 5 conductores.

Repitiendo el mismo proceso que para el tramo 1 del aerogenerador 1 se obtiene un diámetro de tubo de 50 mm.

ANEXO V. FICHAS TÉCNICAS

1 SISTEMA SOLAR

1.1 Captador solar

Colector solar plano **Captador solar SRV 2.3**

SRV 2.3

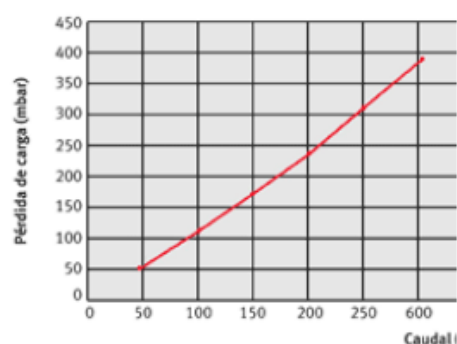
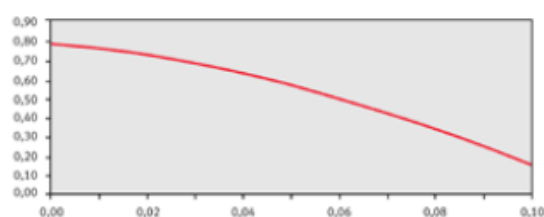


Descripción de Producto

Captador solar SRV 2.3

Características Técnicas

Superficie Externa (m)	2,51
Superficie apertura (m)	2,352
Superficie absorbente (m)	2,33
Longitud (mm)	2.033
Anchura (mm)	1.233
Profundidad (mm)	80
Peso en vacío (kg)	38
Contenido líquido (L)	1,85
Tubo absorbente Cu (diam.) (mm)	15
Presión Máxima de prueba	0,4
Absorbente Cu selectivo (mm)	0,4
Factor de absorción (%)	95
Factor de emisión (%)	5
Pérdida de carga (mbar)	100
Resistencia térmica máxima (°C)	210
Presión de régimen admisible (bar)	10
Caudal recomendado (l/h)	40
Conexiones (g)	-



1.2 INTERCAMBIADOR

Datos técnicos

Materiales estándar

Placas de cubierta	Acero inoxidable
Conexiones	Acero inoxidable
Placas	Acero inoxidable
Relleno de soldadura fuerte	Cobre

Dimensiones y peso¹

Medida A (mm)	$7 + (2.16 \cdot n)$
Medida A (pulgadas)	$0.28 + (0.09 \cdot n)$
Peso (kg) ²	$0.14 + (0.04 \cdot n)$
Peso (lb) ²	$0.3 + (0.09 \cdot n)$

- n = número de placas
- Excluidas las conexiones

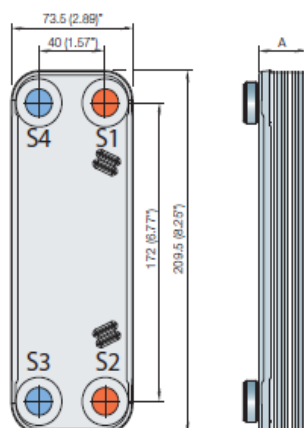
Datos estándar

Volumen por canal, litros (gal)	A (S1-S2): 0.030 (0.0078) A (S3-S4): 0.024 (0.0063) H: 0.027 (0.0070)
Tamaño máximo particular, mm (pulgadas)	1.1 (0.043)
Caudal máx. ¹ m ³ /h (gpm)	4.1 (18)
Dirección del caudal	Paralelo
Número mín. de placas	4
Número máx. de placas	60

- Agua a 5 m/s (16,4 ft/s) (velocidad de conexión)

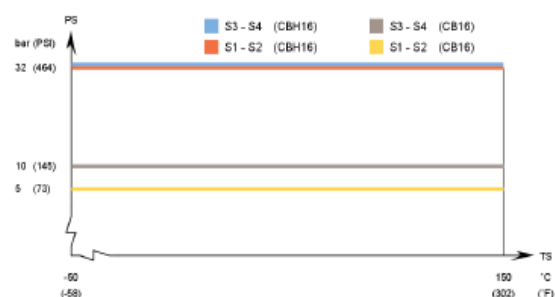
Plano de dimensiones

Medidas en mm (pulgadas)

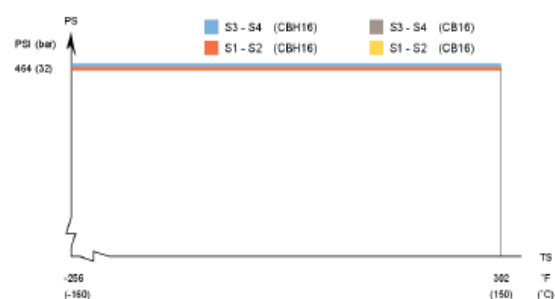


Presión y temperatura de funcionamiento

CB16/CBH16 – Gráfico de presión/temperatura con homologación PED



CBH16 – Gráfico de presión / temperatura con homologación UL/CRN*



Diseñado para vacío completo.

Los intercambiadores de calor de placas Alfa Laval están disponibles con una amplia gama de recipientes de presión certificados. Para obtener más información, póngase en contacto con su representante de Alfa Laval.

NOTA: Los anteriores valores se ofrecen únicamente a título informativo. Para obtener los valores exactos, utilice los planos generados por el configurador Alfa Laval o póngase en contacto con su representantes local de Alfa Laval.

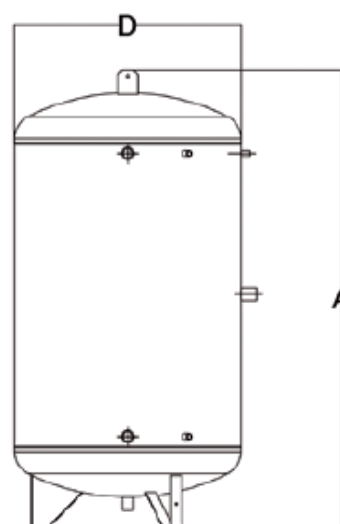
1.3 ACUMULADOR

ACUMULADORES PARA ACS VITRIFICADOS DIRECTOS



Acumuladores

Acumuladores verticales directos para Agua Caliente Sanitaria de acero al carbono y tratamiento interior vitrificado con 5 años de garantía.



Características	150 L	200 L	300 L	500 L	800 L	1000 L	1500 L	2000 L	2500 L	3000 L
Diámetro (D mm)	590	590	700	750	900	1000	1120	1265	1445	1450
Altura (A mm)	1125	1320	1210	1800	2100	2020	2300	2230	2220	2540
Peso (Kg)	72	79	97	153	223	235	330	470	560	620
P _{max} (bar) / T _{max} (°C) de trabajo	10 bar / 95°C									

Acumuladores directos

Modelo	Capacidad (litros)	Asiamento Exterior	Referencia	P.V.P €
ATK 150 D	150	Poliuretano rígido y polipiel	602K0150	660
ATK 200 D	200		602K0200	715
ATK 300 D	300		602K0300	850
ATK 500 D	500		602K0500	1.180
ATK 800 D	800		602K0800	1.695
ATK 1000 D	1000	Poliuretano flexible y polipiel	602K1000	2.180
ATK 1500 D	1500		602K1500	2.950
ATK 2000 D	2000		602K2000	3.480
ATK 2500 D	2500		602K2500	4.120
ATK 3000 D	3000		602K3000	4.580

2 SISTEMA AUXILIAR

2.1 CALDERA DE BIOMASA

Calderas de Pellet

Diseñadas pensando en cada detalle técnico e incluso estético. Completamente aisladas y con una gran superficie de intercambio térmico para garantizar una máxima eficiencia. Facilidad de mantenimiento con 2 puertas de inspección (cámara de combustión y cajón recogida de cenizas). Incluye todos los elementos necesarios del circuito hidráulico de calefacción, así como la posibilidad de control de la producción de ACS.



- 1 Cuerpo caldera en acero
- 2 Tubos de intercambio térmico humos-agua
- 3 Tirador para agitar el turbulador
- 4 Tapa aislante cuerpo caldera
- 5 Puerta cámara de combustión aislada con mirilla
- 6 Cajón de cenizas de grandes dimensiones
- 7 Válvula anti-explosión
- 8 Hogar con pequeños colectores para aire secundario
- 9 Braserero en fundición
- 10 Caja tarjeta de control y conexiones eléctricas
- 11 Termo hidrómetro
- 12 Envoltorio con panel de control y termo hidrómetro
- 13 Conducto aspiración de aire con sensor de caudal
- 14 Depósito pellets
- 15 Tapa depósito pellets
- 16 Rampa caída de pellets
- 17 Moto-reductor del sinfín
- 18 Sinfín alimentación pellet
- 19 Paneles laterales aislados
- 20 Puerta frontal aislada
- 21 Vaso de expansión
- 22 Pies ajustables integrados en cuerpo caldera de una sola pieza



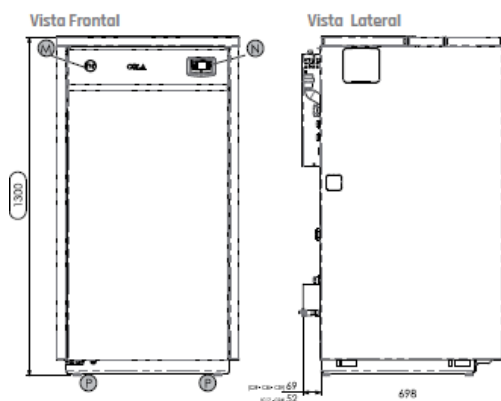

CALDERA DOMUS FIRE HR

C24 4.185€

Potencia térmica nominal	23,2 kW
Potencia transmitida al agua	máx. 22 kW - mín. 4,2 kW
Rendimiento térmico %	máx. 95,09 - mín. 94,54
Capacidad depósito pellet	48 kg
Consumo pellet**	máx. 4,8 kg/h - mín. 0,91 kg/h
Diámetro salida humos	100 mm
Dimensiones cuerpo estufa (mm)	A1300 L580 P698



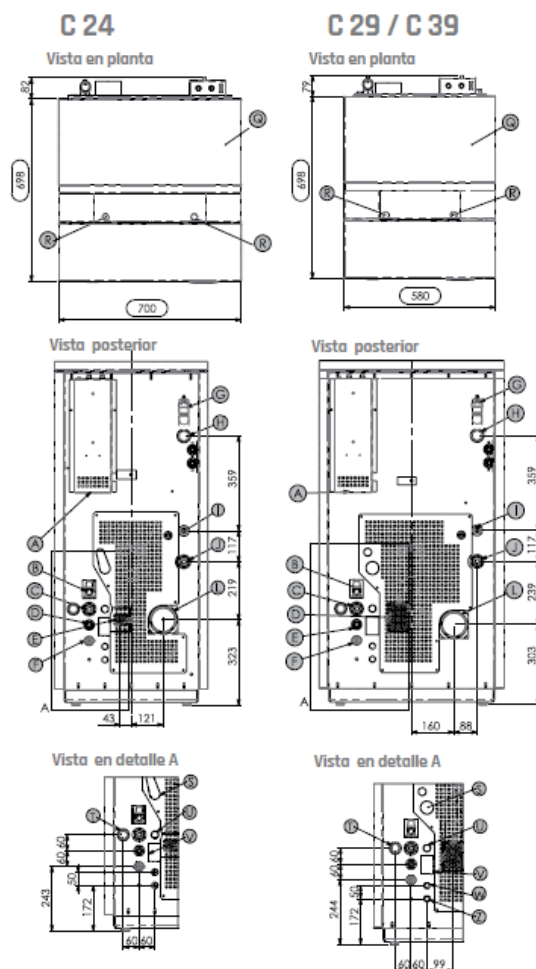
DIMENSIONES Y CONEXIONES



- A- Conexión cable alimentación
- B- Descarga agua válvula seguridad (1/2" F - 3 bar)
- C- Retorno sistema calefacción (1" M)
- D- Entrada aire para combustión ø 60 mm
- E- Conexión llenado agua (1/2" F)
- F- Vaciado de agua
- G- Purgador de aire del sistema
- H- Conexión - envío sin bomba (1" M)
- I- Inspección bomba circuladora
- J- Envío sistema calefacción (1" M)
- L- Tubo conexión salida humos Ø 100 mm
- M- Termohidrómetro
- N- Panel control EVO
- O- Puerta acceso cámara combustión y cajón de cenizas
- P- Pies ajustables
- Q- Depósito de Pellets
- R- Tiradores para agitar los turbuladores

ELEMENTOS OPCIONALES

- S- Inspección bomba ACS
- T- Retorno ACS (3/4" - para bomba)
- U- Entrega ACS (3/4" M - para bomba)
- V- Descarga de válvula seguridad ACS (1/2" F - 6 bar)
- W- Retorno de ACS (1/2" M - para intercambiador)
- Z- Envío de ACS (1/2" M - para intercambiador)



2.2 CHIMENEA



Sistema

TWIN - BIOMASS (negro)

DESCRIPCIÓN

Chimenea modular metálica para evacuación de humos y gases de los productos de la combustión y admisión de aire de doble pared concéntrica fabricada en acero inoxidable interior y exterior.

MATERIAL

Interior: AISI 316L

Exterior: AISI 304 / Galvanizado

ACABADO EXTERIOR

Pintado negro exterior

Opción brillante inox sin pintar: Precio: -18%

ESPESORES (mm)

Pared interior: 0,4

Pared exterior: 0,4

DIÁMETROS DISPONIBLES (mm)

80/125 - 100/150 - 130/200

SISTEMA DE UNIÓN

Conexión macho-hembra con abrazadera de unión sencilla (Incluida)



APLICACIONES

- Estufas de pellets con toma de aire exterior
- Casas pasivas (tanto el circuito de entrada de aire como el de salida de humos están sin comunicación con el interior de la vivienda)
- Calderas de condensación

CARACTERÍSTICAS

- Posibilidad de conexión de humos por detrás de la estufa, por la parte superior o por debajo de la entrada de aire
- Temperatura de trabajo hasta 450°C
- Soldadura TIG/LASER en continuo en todas las piezas
- Abrazadera de unión INCLUIDA
- Conexión de entrada de aire final en simple pared o con tramos flexibles
- Para condensación es necesaria la junta de silicona en las uniones y una pendiente mínima de 3° en tramos horizontales

CERTIFICADO CE

0036 CPR 9174 065 (combustibles sólidos)

0036 CPR 9174 031 (condensación y gasoil)

CLASIFICACIONES CE (UNE-EN 1856-1)

T450 - N1 - D - V2 - L50040 - G(100) (combustibles sólidos)

T200 - P1 - W - V2 - L50040 - O(00) (condensación)

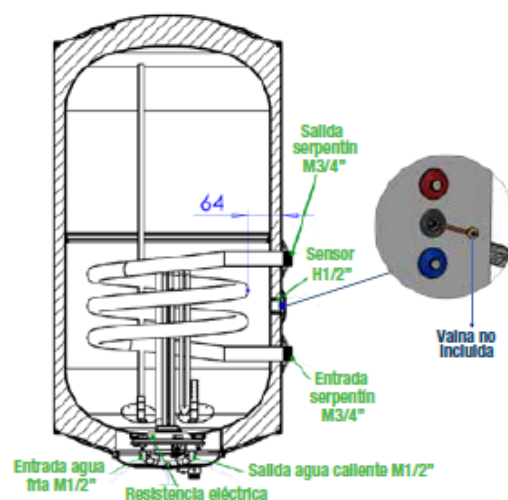
T200 - N1 - W - V2 - L50040 - O(00) (gasoil)

2.3 INTERACUMULADOR

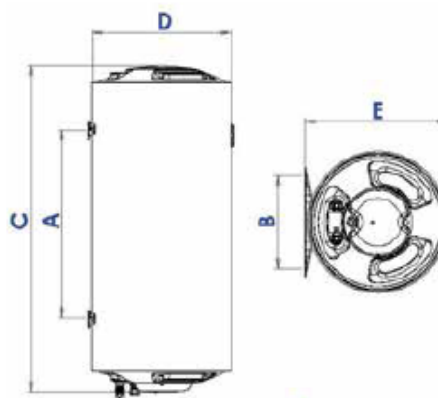
ACUMULADORES PARA ACS VITRIFICADOS MURAL 1 SERPENTÍN



Acumuladores vitrificados con un serpentín fijo, murales, para Agua Caliente Sanitaria.



Características	80 L	100 L	120 L	150 L	200 L
Sup. Intercambio S sup (m²)	0,35	0,45	0,55	0,65	0,90
Diámetro (D mm)	43	43	43	43	52
Altura (C mm)	84	99	119	145	133
Fondo (E mm)	44	44	44	44	54
Dist. anclajes verticales (A mm)	43	58	73	105	76
Dist. anclajes horizontales (B mm)	26	26	26	26	26
Peso (kg)	26,4	33,2	40	61	75,5
P _{max} (bar) / T _{max} (°C) de trabajo	10 bar / 95°C				
Elemento eléctrico opcional (kW)	1,5	2	2	2	3



Interacumuladores mural con serpentín fijo

Modelo	Capacidad (litros)	Protección Exterior	Referencia	P.V.P €
ATN 80 SM	80	Acero lacado blanco	602N0081M	240
ATN 100 SM	100		602N0101M	280
ATN 120 SM	120		602N0121M	365
ATN 150 SM	150		602N0151M	500
ATN 200 SM	200		602N0201M	555

3 SISTEMA EÓLICO

3.1 AEROGENERADOR



E30PRO

FICHA TÉCNICA

Con una velocidad de viento medio situado en la nominal de 11m/s el modelo Enair 30PRO es capaz de generar más de 30kWh/día

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, ELÉCTRICAS Y DE FUNCIONAMIENTO

Numero de palas	3
Material de palas	Fibra de vidrio con resinas y núcleo de poliuretano
Generador	250rpm nominales imanes de neodimio
Potencia	3000W
Potencia Nominal	1900W (según IEC 61400-2)
Tensión	24/48/220V
Clase de viento	CLASS I-IEC 61400-2/NVNI-A
Diámetro	3.80m
Sentido de Giro	Horario
Área de barrido	11.34m²
Peso	125kg
Aplicaciones	Carga de baterías 24 o 48V y conexión a red
Viento de arranque	2m/s
Velocidad nominal	11m/s
Vel. regulación paso variable	12m/s
Velocidad de supervivencia	60m/s
Rango de generación eficiente	De 2 a 60m/s
Tipo	Rotor de eje horizontal a barlovento
Orientación	Sistema pasivo con timón de orientación
Control de potencia	Sistema de paso variable pasivo centrífugo con dos vel.
Transmisión	Directa
Freno	<ul style="list-style-type: none"> - Electromagnético por cortocircuito - Mecánico (opcional) - Aerodinámico mediante paso variable - Manual o automático por viento o por tensión de baterías
Controlador	Carga de baterías y conexión a red
Inversor eólico	Eficiencia 97%, algoritmo MPPT
Ruido	48dB Reducción al mínimo gracias al diseño de las palas y a las bajas revoluciones. 1% más que el ruido ambiente del viento
Protección anti-corrosión	Hermético, pintura epoxi de secado al horno de alta temperatura, generando un recubrimiento plástico
Torre	Celosis, presilla y tubular, abatibles o fijas, altura variable



3.4m



125kg



3.80m

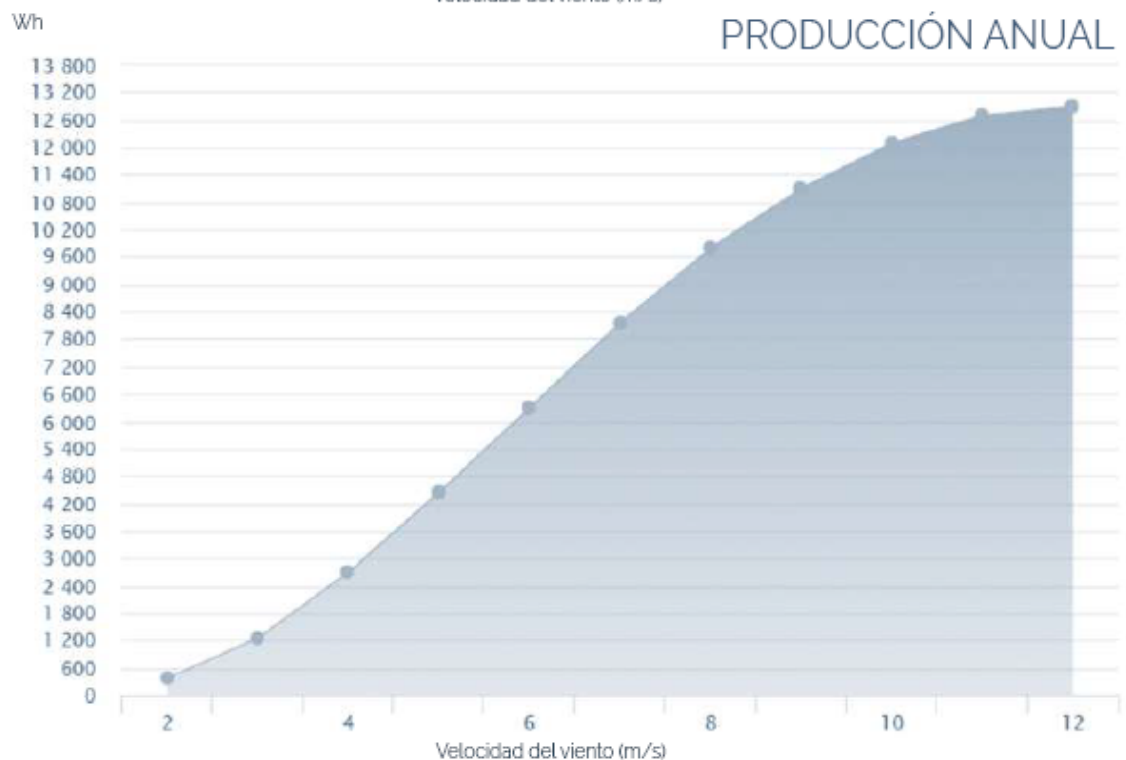
CLASS I WIND TURBINE

IEC 61400-2/NVI-A

CURVA DE POTENCIA



PRODUCCIÓN ANUAL



3.2 INVERSOR

Modelo	Solis-1P10K-4G
Fuente de energía	
Potencia máxima de entrada CC (kW)	11.5
Tensión de entrada CC (V)	600
Tensión de salida (V)	120
Rango de tensión MPPT (V)	100-500
Corriente máxima de entrada (A/B/C)	10A+10A+10A
Número de MPPT / String por MPPT input	3(A:1; B:1; C:1)
Salida (CA)	
Potencia nominal de salida (kW)	10
Potencia máx de salida aparente (kVA)	10
Potencia máx de salida (kW)	10
Tensión nominal de la red(V)	220/230
Frecuencia nominal de la red (Hz)	50/60
Rango de frecuencia de la red (Hz)	47-52 o 57-62
Fases de operación	Mono
Corriente nominal de salida de red (A)	45.5/43.5
Corriente de salida (A)	45.9
Factor de potencia (la potencia de salida nominal)	0.8 Adelantado ... 0.8 Atrasado
THDI (la potencia de salida nominal)	<1.5%
Corriente de inyección CC	<0.5%In
Eficiencia	
Eficiencia máxima	98.1%
Eficiencia EU	97.6%
Eficiencia MPPT	>99.5%
Protección	
Protección contra inversión de polaridad CC	Sí
Protección contra cortocircuito	Sí
Protección de sobrecorriente de salida	Sí
Protección de sobretensión de salida	Sí
Monitoreo de la resistencia de aislamiento	Sí
Detección de corriente residual	Sí
Protección de sobretensión	Sí
Monitoreo de red	Sí
protección de Islanding	Sí
Protección de temperatura	Sí
Interruptor de CC Integrado	Optional
Datos generales	
Dimensiones (mm)	333W*573H*249D
Peso (kg)	18
Topología	Sin Transformador
Consumo propio (noche)	<1W (noche)
Rango de temperatura ambiente de funcionamiento	-25~60°C
Humedad relativa	0~100%
Protección IP	IP65
Emisión de ruidos (típico)	<30 dBA
Concepto de refrigeración	Convección natural
Altitud máxima de funcionamiento	4000m
Vida útil proyectada	>20 años
Estándar de conexión de red	EN50438, G83/2, G59/3, AS4777.2:2015, VDE0126-1-1, IEC61727, VDE N4105
Estándar de seguridad / EMC	IEC62109-1/-2, NB/T 32004, EN61000-6-1, EN61000-6-3
Características	
Conexión CC	MAC4
Conexión de CA	IP67rated plug
Pantalla	LCD, 2x20 Z.
Conexiones de comunicación	4 pins RS485 connector
Monitoreo	WIFI o GPRS
Garantía	5 años estándar (extender a 20 años)

3.3 BATERÍA

Classic EnerSol T

Technical data, Drawings

Technical characteristics and data

Type	Part number	Nom. voltage V	Nominal capacity C_{20} 1.85 Vpc 25 °C Ah	Length (l) max. mm	Width (b/w) max. mm	Height* (h) max. mm	Installed length (L) max. mm	Weight incl. acid approx. kg	Weight acid** approx. kg	Internal resistance mOhm	Short circuit current A	Terminal	Pole pairs
EnerSol T 370	NVTS020370WC0FA	2	376	83.0	199	445	93.0	17.3	5.10	0.70	2900	F-M10	1
EnerSol T 460	NVTS020460WC0FA	2	452	101	199	445	111	21.0	6.30	0.56	3625	F-M10	1
EnerSol T 550	NVTS020550WC0FA	2	542	119	199	445	129	24.7	7.50	0.46	4350	F-M10	1
EnerSol T 650	NVTS020650WC0FA	2	668	119	199	508	129	29.5	8.60	0.45	4500	F-M10	1
EnerSol T 760	NVTS020760WC0FA	2	779	137	199	508	147	31.0	10.0	0.38	5250	F-M10	1
EnerSol T 880	NVTS020880WC0FA	2	897	137	199	556	147	38.0	11.0	0.43	4660	F-M10	1
EnerSol T 1000	NVTS021000WC0FA	2	1025	155	199	556	165	43.1	12.6	0.38	5325	F-M10	1
EnerSol T 1130	NVTS021130WC0FA	2	1154	173	199	556	183	47.7	14.1	0.34	5991	F-M10	1
EnerSol T 1250	NVTS021250WC0FA	2	1282	191	199	556	201	52.8	15.6	0.30	6657	F-M10	1

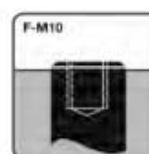
* The above mentioned height can differ depending on the used vent(s).

** Acid density $d_4 = 1.26 \text{ kg/l}$

Type	$C_{1.75}$ V/C	$C_{1.80}$ V/C	$C_{1.80}$ V/C	$C_{1.80}$ V/C	$C_{1.80}$ V/C	$C_{1.80}$ V/C	$C_{1.85}$ V/C	$C_{1.85}$ V/C	$C_{1.85}$ V/C
EnerSol T 370	260	280	294	333	361	368	369	376	383
EnerSol T 460	327	350	367	416	437	460	444	452	478
EnerSol T 550	393	425	441	499	524	553	533	542	574
EnerSol T 650	492	527	552	625	656	668	647	668	719
EnerSol T 760	574	615	645	729	766	780	755	779	839
EnerSol T 880	654	714	742	840	854	953	869	897	966
EnerSol T 1000	755	809	848	960	1008	1089	993	1025	1104
EnerSol T 1130	850	910	954	1080	1134	1225	1117	1154	1242
EnerSol T 1250	944	1011	1060	1200	1260	1361	1241	1282	1380

The capacities are given in Ah at 25 °C after 5 cycles.

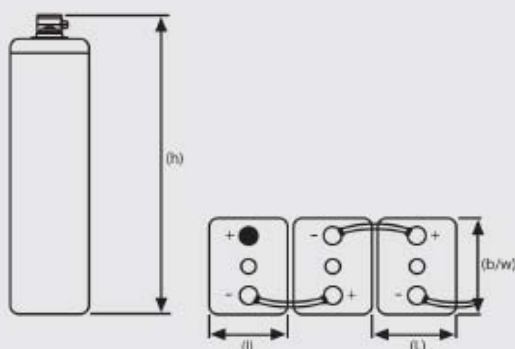
Terminal and torque



25 Nm



Drawings with terminal position



Not to scale!

ANEXO VI. ESTUDIO VIABILIDAD ECONÓMICA

Según se ha indicado en la "Memoria. Apartado 9", se ha calculado el flujo de caja como los ingresos menos los gastos de mantenimiento, 490 €. Para calcular los ingresos hay que calcular los gastos anuales con la instalación antigua (gasoil y electricidad) y los gastos con la nueva instalación (pellets y electricidad).

En primer lugar se va a calcular el consumo en gasoil anual. En el último año (2018) la vivienda tuvo un gasto de 2800 litros de gasoil. Para calcular el gasto en gasoil se debe multiplicar por el precio del gasoil C, cuya tendencia en los últimos años ha sido al alza, incrementando su precio en 0,11 € en los últimos 5 años hasta situarse en un precio medio de 1 €/litro este año 2019, sin previsión de que descienda, por lo que se aplicará esta variación para el cálculo del VAN.

Por lo tanto, el gasto de gasoil para el primer año tomando como precio de salida 1 €/litro el gasto será el calculado con la siguiente ecuación 86. Para el resto de años se le aplicará la tasa de incremento al realizarlo.

$$\text{Gasto gasoil anual} = 2800 \cdot 1 = 2800 \text{ €/año} \quad (\text{ec. 86})$$

A continuación, se obtiene el gasto en electricidad en la vivienda a partir de las facturas eléctricas expresadas en el "Anexo I". Sumando el gasto mensual de todas ellas se obtiene un gasto anual en la electricidad de 515 € al año.

Estos serían los gastos con la antigua instalación convencional, a continuación se van a calcular los gastos con la nueva instalación, tanto el gasto en pellets como en electricidad.

El consumo anual de pellets en kg se obtiene a partir de la cantidad en kg de gasoil C consumido, multiplicándolo por su densidad de 0,83 kg/l. Este se multiplica por su poder calorífico, 11,9 kWh/kg y se obtiene la producción de energía de la caldera en kWh al año, a lo que se le debe restar el 30 % de la demanda de ACS que es capaz de cubrir el captador solar, 1024 kWh/año. A continuación, con el poder calorífico del pellet, 5,2 kWh/kg, se calculará el consumo teórico de este en kg, que aplicándole el rendimiento de la caldera del 94,8 % dará el consumo real de pellets en kg al año.

$$\text{Cantidad de gasoil en kg} = 2800 \cdot 0,83 = 2324 \text{ kg/año} \quad (\text{ec. 87})$$

$$\text{Aporte de energia (kWh)} = 2324 \cdot 11,9 = 27656 \text{ kWh/año} \quad (\text{ec. 88})$$

$$\text{Aporte de energia real (kWh)} = 27656 - 1024 = 25632 \text{ kWh/año} \quad (\text{ec. 89})$$

$$\text{Consumo pellets teorico en kg} = 25632/5,2 = 4929,2 \text{ kg/año} \quad (\text{ec. 90})$$

$$\text{Consumo pellets real en kg} = 4929,2/0,948 = 5199,6 \text{ kg/año} \quad (\text{ec. 91})$$

Para obtener el gasto en euros del combustible de pellets se multiplica por el precio del pellet incluido el transporte hasta la vivienda. El precio de este combustible se ha mantenido prácticamente estable en los últimos 5 años, variando 0,01€ en este periodo, variación que se aplicara al periodo de 25 años para el que se calculará el VAN, situándose actualmente en 0,25 €/kg. Por tanto, el gasto de pellets para el primer año sería el calculado a continuación con la ecuación 91, para el resto de años se aplicará la fluctuación del precio del combustible en el cálculo total.

$$\text{Gasto pellets anual} = 5199,6 \cdot 0,25 = 1300 \text{ €/año} \quad (\text{ec. 92})$$

Para el gasto en electricidad se ha calculado el consumo eléctrico descontando el 30% de la parte variable que son capaces de cubrir los aerogeneradores según las facturas del "Anexo I" y además se ha decidido reducir la potencia contratada de la vivienda de 5,75 kW a 4,6 kW ya que con esta bastaría para cubrir los picos de demanda. Calculando el precio total anual tras realizar lo anteriormente nombrado se obtiene un gasto anual eléctrico de 390 €.

Finalmente se podrán calcular los beneficios anuales en € identificados como el ahorro conseguido al sustituir el gasoil C por energía solar térmica y pellets para el primer año:

$$\text{Beneficio anual} = \text{Ahorro termico} + \text{Ahorro electrico} \quad (\text{ec. 93})$$

$$\text{Beneficio año 1} = (2800 - 1300) + (515 - 390) = 1625 \text{ €} \quad (\text{ec. 94})$$

Posteriormente para el resto de años considerados se tendrá en cuenta la diferente fluctuación de precios experimentada por el gasoil C y los pellets lo que irá incrementando y variando el ahorro obtenido año a año, tras la nueva instalación.

Los gastos anuales de mantenimiento como se ha explicado en la "Memoria. Apartado 9" son de 490 € anuales. Una vez hecho todo lo anterior se podrá calcular el flujo de caja necesario para calcular el VAN con una tasa de interés del 1% dado que es necesario tener un pequeño margen de ganancia para prevenir fluctuaciones en el precio de los recursos así como posibles averías en la instalación, pero no se necesita que los beneficios sean muy elevados, ya que la finalidad de este proyecto es que la instalación de energías renovables pueda ser competitiva con la actual instalación basada en combustibles fósiles, desde un punto de vista económico, contribuyendo también a la mejora del cambio climático. Como se puede ver en la tabla siguiente la instalación no es económicamente viable, perdiendo en torno a 40000 euros en los 25 años de vida útil de la instalación.

Año	Inversión Inicial (€)	Ingresos (€)	Gastos mantenimiento (€)	Flujo de caja (€)	Flujo de caja acumulado (€)
0	-77877,21	0	0	-77877,21	-77877,21
1	0	1625,10	490	1135,10	-76.742,11
2	0	1676,30	490	1186,30	-75.555,81
3	0	1727,50	490	1237,50	-74.318,31
4	0	1778,70	490	1288,70	-73.029,61
5	0	1829,90	490	1339,90	-71.689,70
6	0	1881,10	490	1391,10	-70.298,60
7	0	1932,30	490	1442,30	-68.856,29
8	0	1983,51	490	1493,51	-67.362,79
9	0	2034,71	490	1544,71	-65.818,08
10	0	2085,91	490	1595,91	-64.222,17
11	0	2137,11	490	1647,11	-62.575,07
12	0	2188,31	490	1698,31	-60.876,76
13	0	2239,51	490	1749,51	-59.127,25
14	0	2290,71	490	1800,71	-57.326,54
15	0	2341,91	490	1851,91	-55.474,63
16	0	2393,11	490	1903,11	-53.571,51
17	0	2444,31	490	1954,31	-51.617,20
18	0	2495,51	490	2005,51	-49.611,69
19	0	2546,71	490	2056,71	-47.554,97
20	0	2597,92	490	2107,92	-45.447,06
21	0	2649,12	490	2159,12	-43.287,94
22	0	2700,32	490	2210,32	-41.077,63
23	0	2751,52	490	2261,52	-38.816,11
24	0	2802,72	490	2312,72	-36.503,39
25	0	2853,92	490	2363,92	-34.139,47
VAN			-39.930,33 €		

Tabla 54. Cálculo del flujo de caja y VAN (Fuente: Elaboración propia).

Sin embargo, si se calcula el VAN, pero eliminando la parte mini-eólica de la instalación dejando solo la parte formada por el sistema solar-térmico y el sistema auxiliar de biomasa. Realizando el cálculo del VAN para la instalación únicamente de la caldera de biomasa y energía solar térmica, se obtiene que la incorporación parcial de energías renovables a la vivienda puede resultar viable actualmente desde un punto de vista económico, considerando 25 años de vida útil de los componentes, como se puede comprobar a continuación.

Año	Inversión Inicial (€)	Ingresos (€)	Gastos mantenimiento (€)	Flujo de caja (€)	Flujo de caja acumulado (€)
0	-25061,32	0	0	-25061,32	-25061,32
1	0	1625,10	40	1585,10	-23.476,22
2	0	1676,30	40	1636,30	-21.839,92
3	0	1727,50	40	1687,50	-20.152,42
4	0	1778,70	40	1738,70	-18.413,72
5	0	1829,90	40	1789,90	-16.623,81
6	0	1881,10	40	1841,10	-14.782,71
7	0	1932,30	40	1892,30	-12.890,40
8	0	1983,51	40	1943,51	-10.946,90
9	0	2034,71	40	1994,71	-8.952,19
10	0	2085,91	40	2045,91	-6.906,28
11	0	2137,11	40	2097,11	-4.809,18
12	0	2188,31	40	2148,31	-2.660,87
13	0	2239,51	40	2199,51	-461,36
14	0	2290,71	40	2250,71	1.789,35
15	0	2341,91	40	2301,91	4.091,26
16	0	2393,11	40	2353,11	6.444,38
17	0	2444,31	40	2404,31	8.848,69
18	0	2495,51	40	2455,51	11.304,20
19	0	2546,71	40	2506,71	13.810,92
20	0	2597,92	40	2557,92	16.368,83
21	0	2649,12	40	2609,12	18.977,95
22	0	2700,32	40	2660,32	21.638,26
23	0	2751,52	40	2711,52	24.349,78
24	0	2802,72	40	2762,72	27.112,50
25	0	2853,92	40	2813,92	29.926,42

VAN 25 años	22.795,98 €
--------------------	--------------------

Tabla 55. Cálculo del flujo de caja y VAN, sin el sistema eólico (Fuente: Elaboración propia).

Si se repite el cálculo del VAN para una tasa de interés del 2% en lugar del 1%, se obtiene un valor de -44700 € para la instalación completa y de 16900€ para la instalación de la parte de calefacción y ACS.

DOCUMENTO 3. PLANOS

DOCUMENTO 3. PLANOS

DOCUMENTO 3. PLANOS.....	228
PLANO 01. ALZADOS ESTE Y SUR	229
PLANO 02. ALZADOS NORTE Y OESTE.....	230
PLANO 03. PLANTA BAJA Y CUBIERTA.....	231
PLANO 04. ORDENACIÓN PLANTA BAJA	232
PLANO 05. ORDENACION PRIMERA PLANTA.....	233
PLANO 06. UBICACIÓN DEL CAPTADOR SOLAR.....	234
PLANO 07. CIRCUITO PRIMARIO SOLAR	235
PLANO 08. CIRCUITO DE CALEFACCIÓN	236
PLANO 09. DISTRIBUCION CUARDO DE CALDERAS	237
PLANO 10. ESQUEMA ELECTRICO	238
PLANO 11. ESQUEMA UNIFILAR	239

ALZADO ESTE



ALZADO SUR

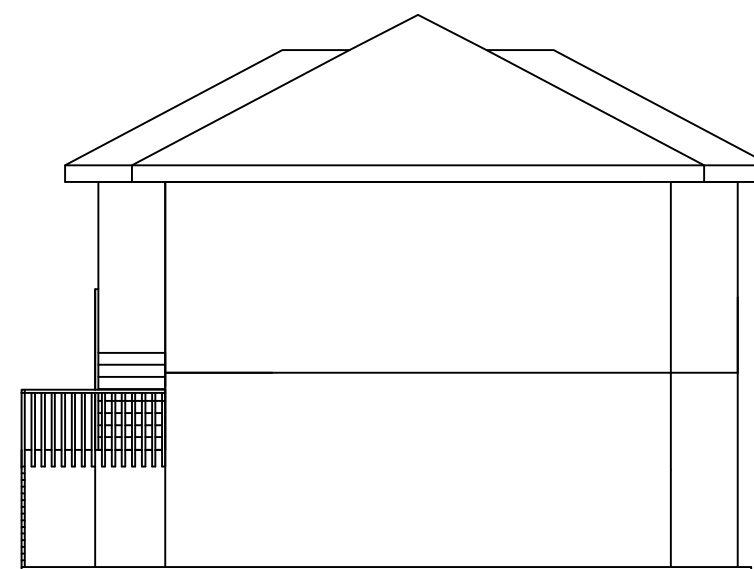




Escala: 1:100			Grado en Ingeniería Eléctrica	UNIVERSIDAD DE CANTABRIA ETS Ing. Industriales y de Telecomunicaciones	
Nº Plano 1	Titulo del plano ALZADOS ESTE Y SUR			Dibujado	J.A. CANO HAZAS
				Comprobado	I. FERNÁNDEZ
				Fecha	JULIO 2019
				Idioma	ES
				Hoja	1/11

ALZADO OESTE

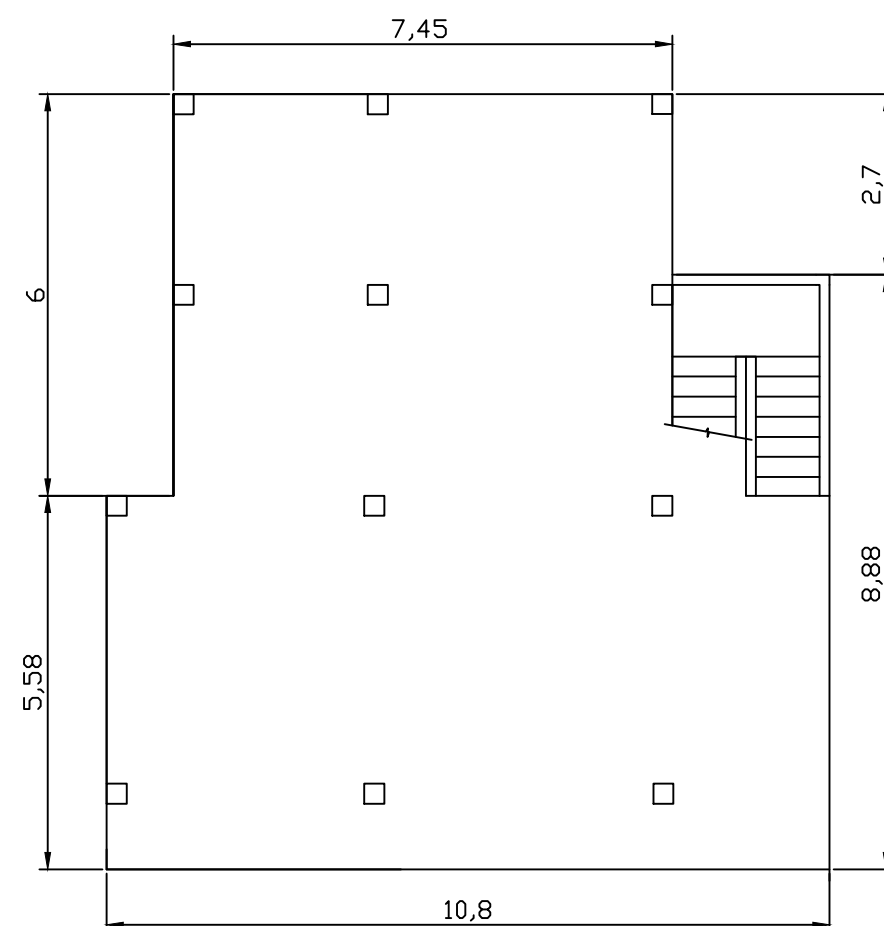


ALZADO NORTE

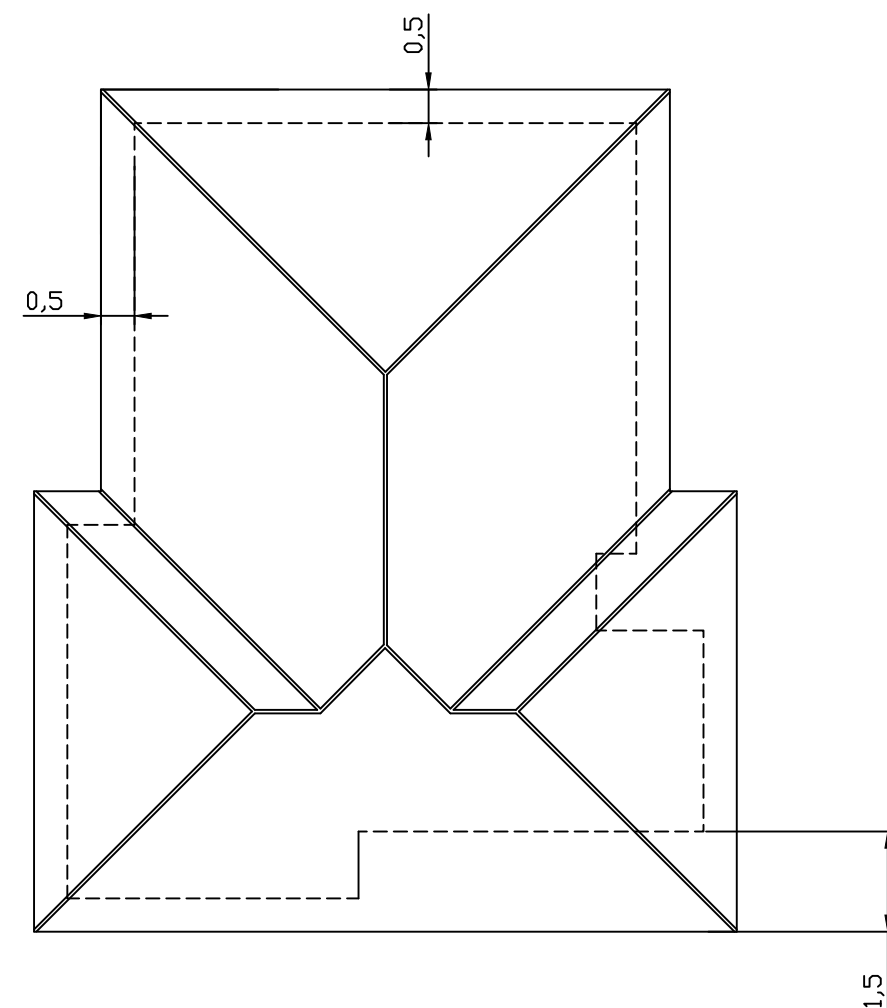




<i>Escala:</i> <i>1:100</i>			<i>Grado en</i> <i>Ingeniería</i> <i>Eléctrica</i>	<i>UNIVERSIDAD DE CANTABRIA</i> <i>ETS Ing. Industriales y</i> <i>de Telecomunicaciones</i>	
<i>Nº Plano</i> <i>2</i>	<i>Título del plano</i> <i>ALZADOS NORTE Y OESTE</i>			<i>Dibujado</i>	<i>J.A. CANO HAZAS</i>
				<i>Comprobado</i>	<i>I. FERNÁNDEZ</i>
				<i>Fecha</i>	<i>JULIO 2019</i>
				<i>Idioma</i>	<i>ES</i>
				<i>Hoja:</i>	<i>2/11</i>

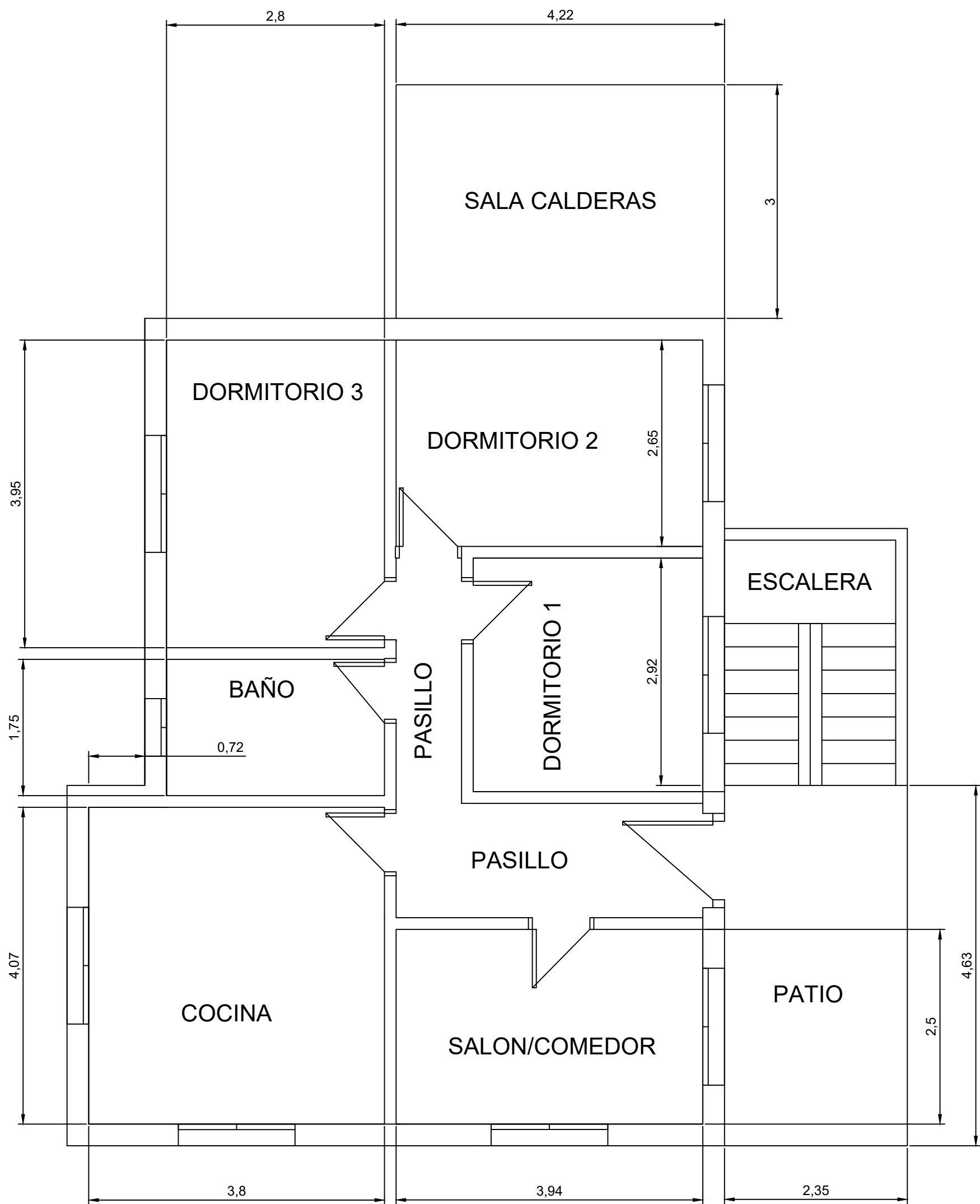
PLANTA BAJA





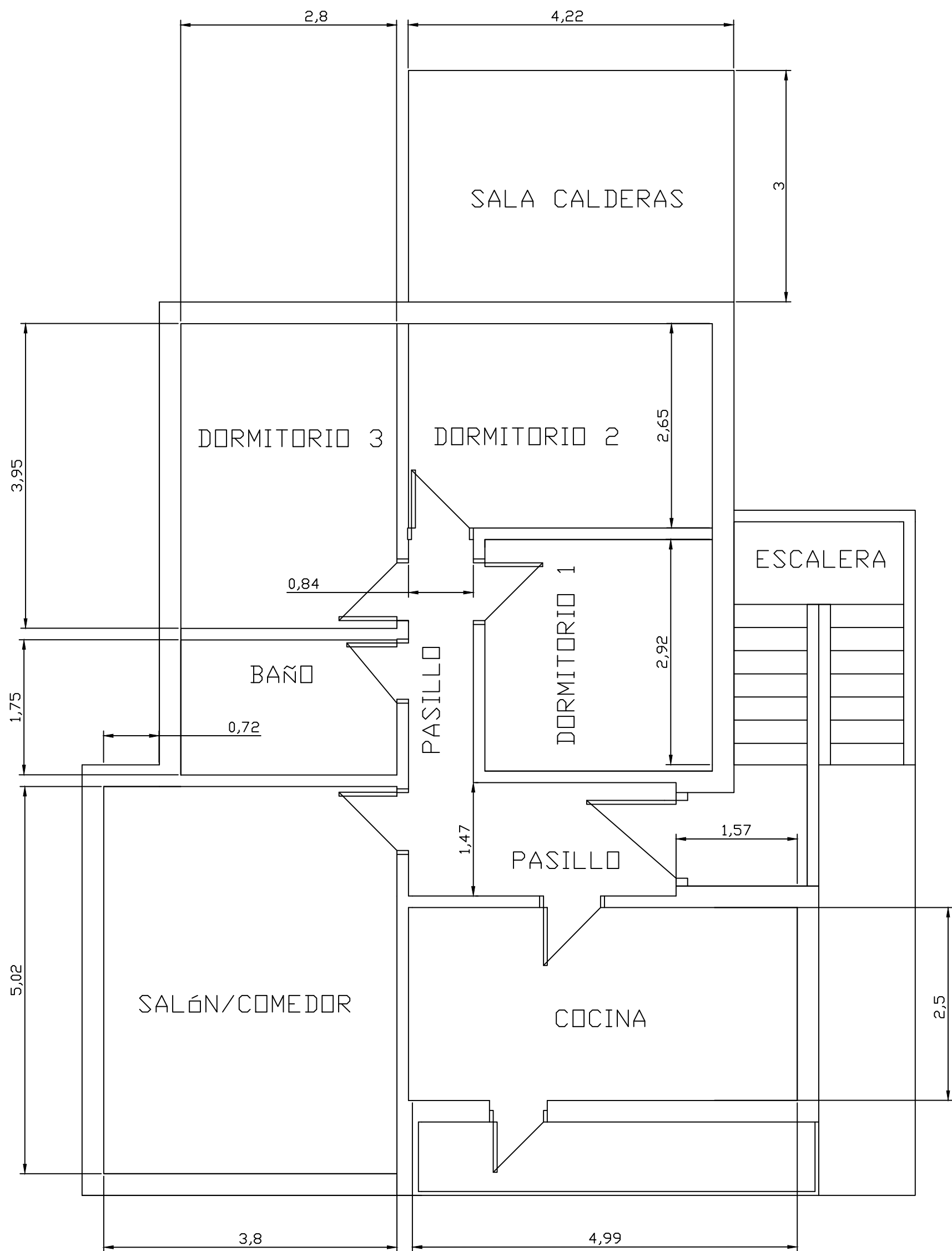
CUBIERTA





<i>Escala:</i> <i>1:100</i>			<i>Grado en</i> <i>Ingeniería</i> <i>Eléctrica</i>	<i>UNIVERSIDAD DE CANTABRIA</i> <i>ETS Ing. Industriales y</i> <i>de Telecomunicaciones</i>	
<i>Nº Plano</i> <i>3</i>	<i>Título del plano</i> <i>PLANTA BAJA Y CUBIERTA</i>			<i>Dibujado</i>	<i>J.A. CANO HAZAS</i>
				<i>Comprobado</i>	<i>I. FERNÁNDEZ</i>
				<i>Fecha</i>	<i>JULIO 2019</i>
				<i>Idioma</i>	<i>ES</i>
				<i>Hoja:</i>	<i>3/11</i>

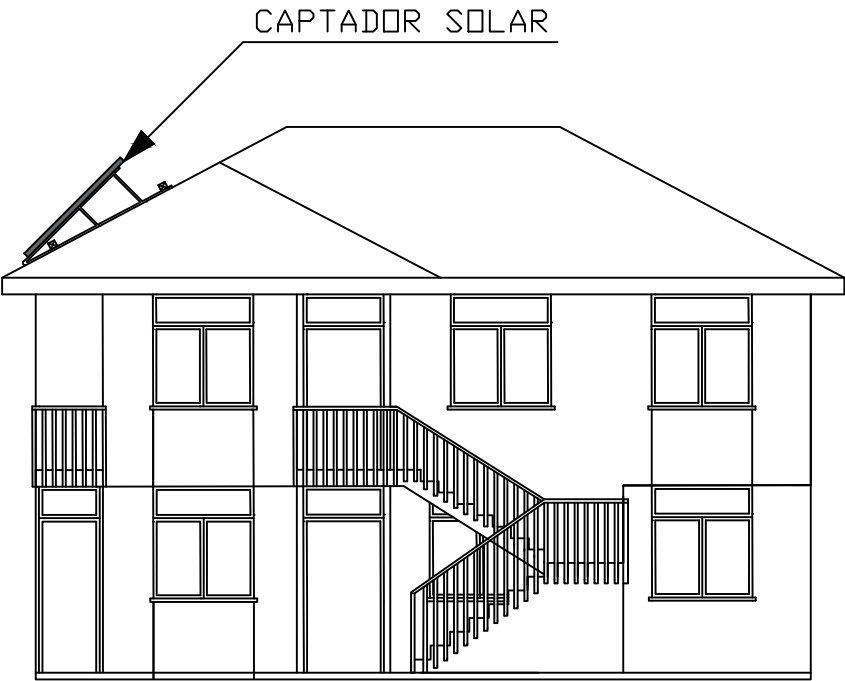


Escala: 1:50	 	Grado en Ingeniería Eléctrica	UNIVERSIDAD DE CANTABRIA ETS Ing. Industriales y de Telecomunicaciones	
Nº Plano 4	Titulo del plano ORDENACIÓN PLANTA BAJA		Dibujado	J.A. CANO HAZAS
			Comprobado	I. FERNÁNDEZ
			Fecha	JULIO 2019
			Idioma	ES
			Hoja:	4/11

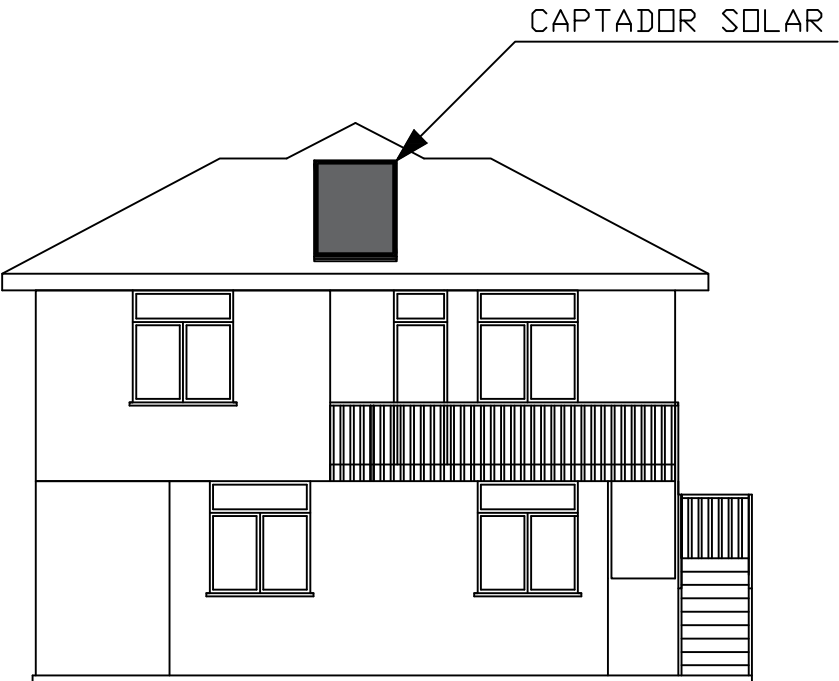




Escala: 1:50	 	Grado en Ingeniería Eléctrica	UNIVERSIDAD DE CANTABRIA ETS Ing. Industriales y de Telecomunicaciones	
Nº Plano 5	Titulo del plano ORDENACIÓN PRIMERA PLANTA		Dibujado	J.A. CANO HAZAS
			Comprobado	I. FERNÁNDEZ
			Fecha	JULIO 2019
			Idioma	ES
			Hoja:	5/11

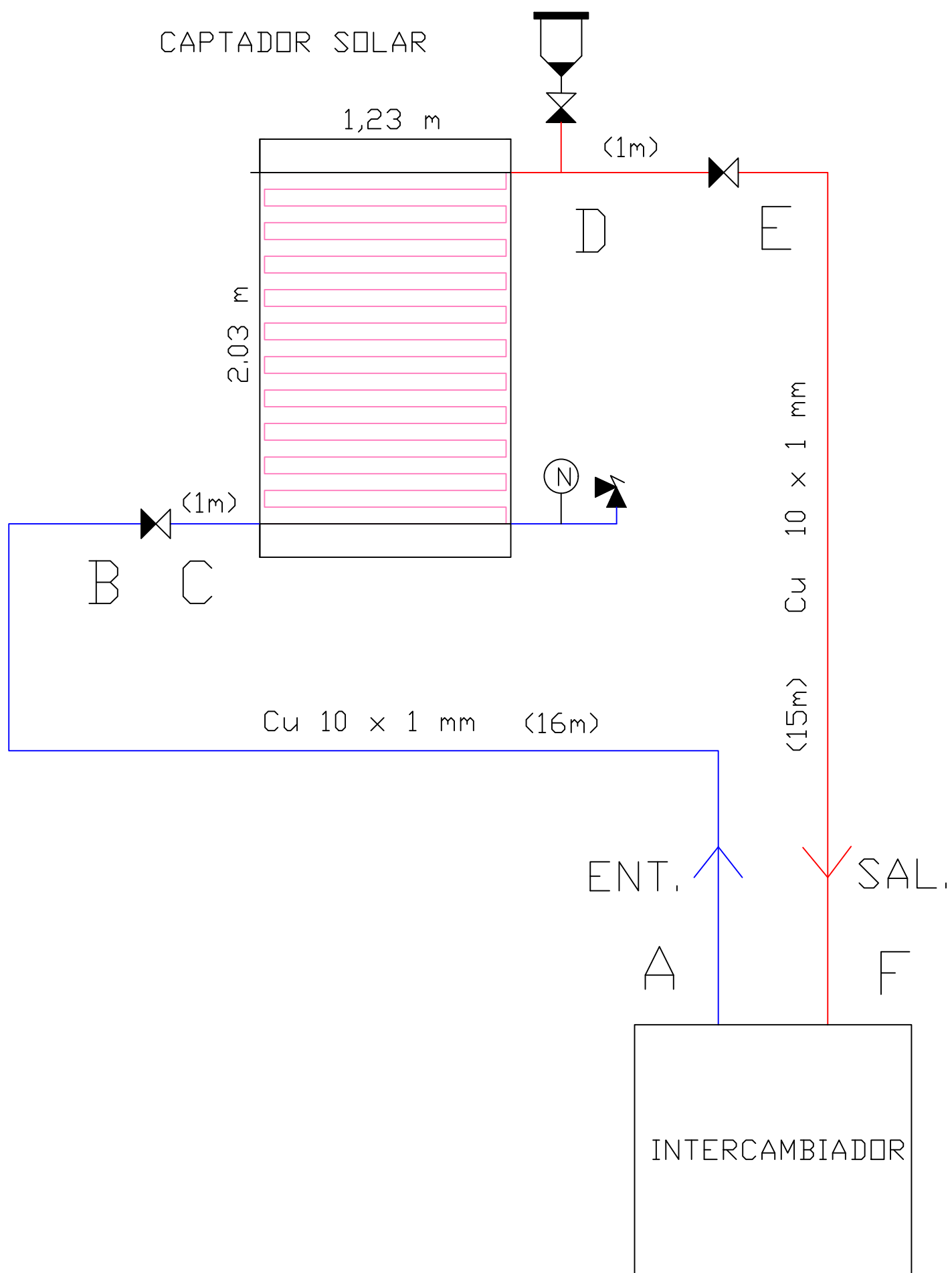
ALZADO ESTE





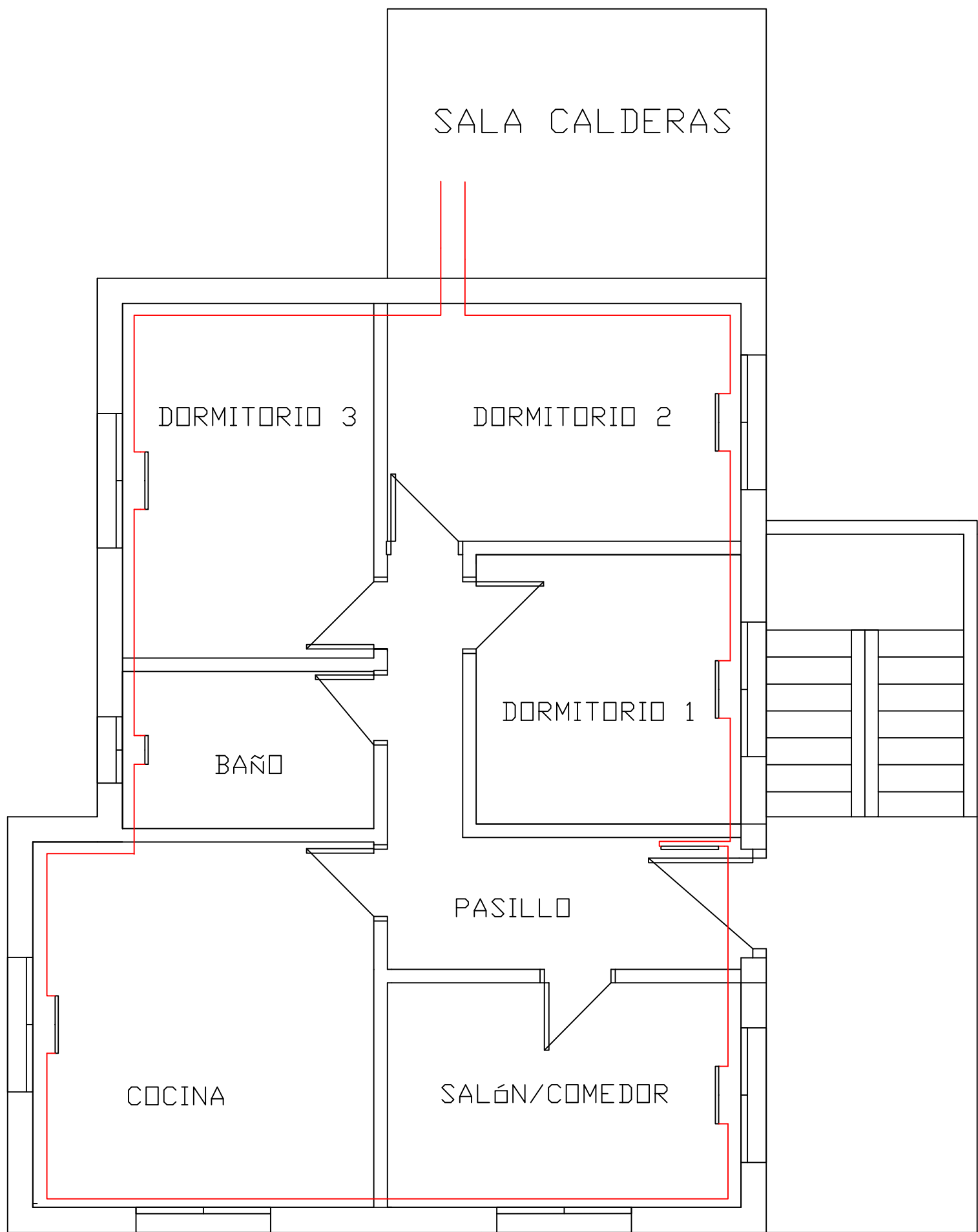
ALZADO SUR





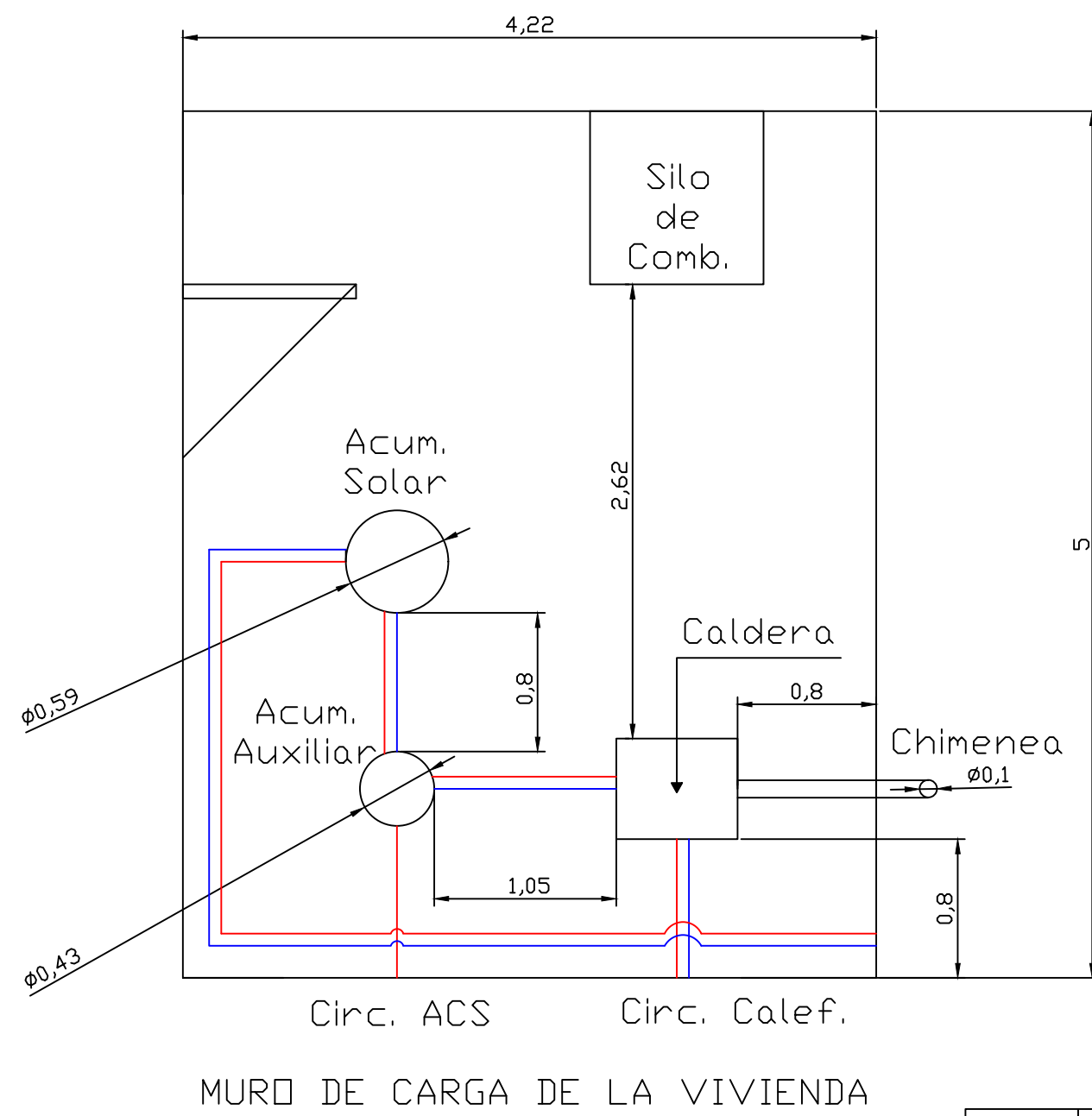
Escala: 1:50	 	Grado en Ingeniería Eléctrica	UNIVERSIDAD DE CANTABRIA ETS Ing. Industriales y de Telecomunicaciones	
Nº Plano 6	Título del plano UBICACIÓN DEL CAPTADOR SOLAR		Dibujado	J.A. CANO HAZAS
			Comprobado	I. FERNÁNDEZ
			Fecha	JULIO 2019
			Idioma	ES
			Hoja:	6/11





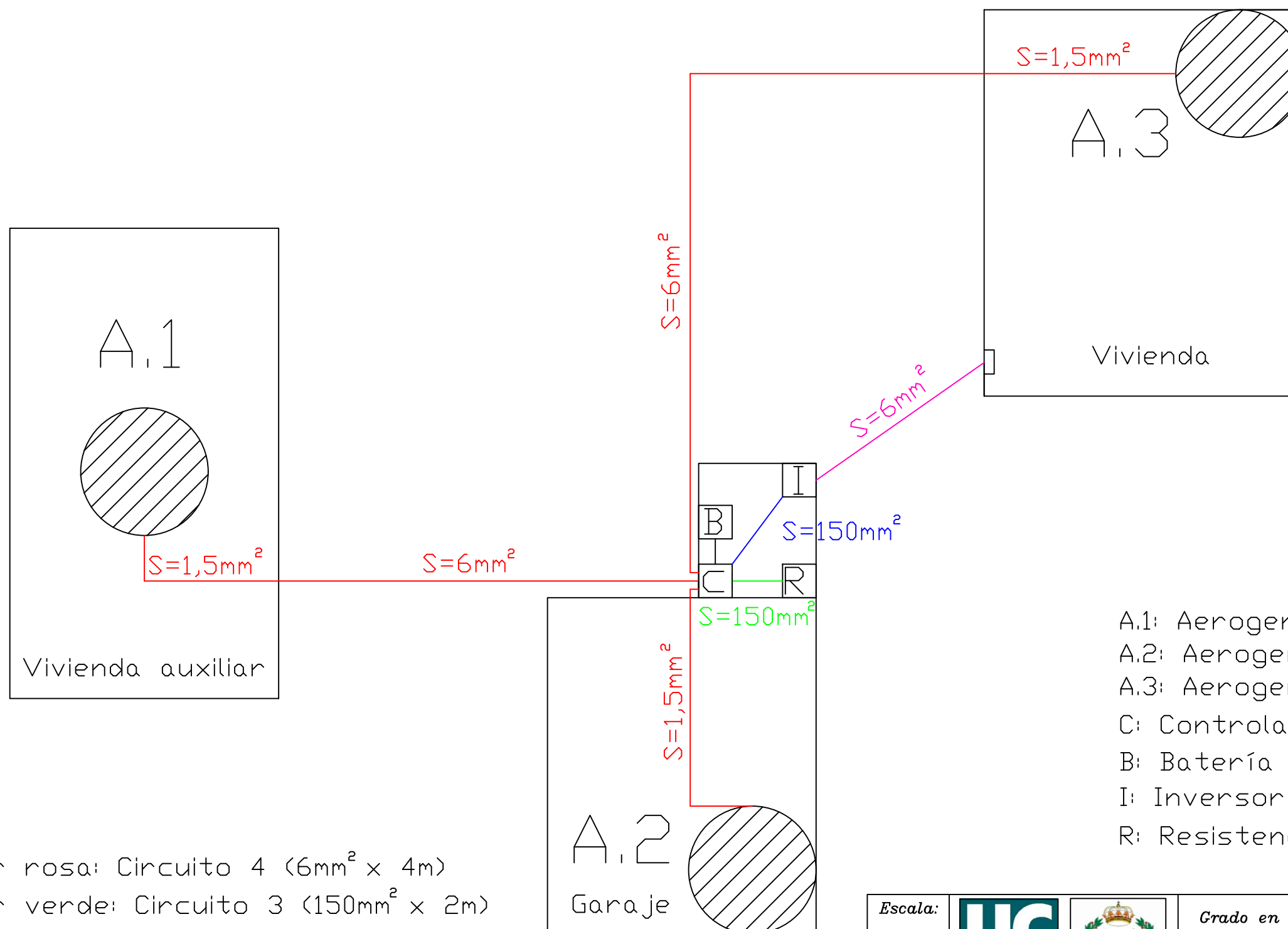
<i>Escala:</i> <i>S/E</i>	 	<i>Grado en</i> <i>Ingeniería</i> <i>Eléctrica</i>	<i>UNIVERSIDAD DE CANTABRIA</i> <i>ETS Ing. Industriales y</i> <i>de Telecomunicaciones</i>	
<i>Nº Plano</i> 7	<i>Título del plano</i> CIRCUITO PRIMARIO SOLAR		<i>Dibujado</i> J.A. CANO HAZAS	<i>Comprobado</i> I. FERNÁNDEZ
			<i>Fecha</i> JULIO 2019	<i>Idioma</i> ES
			<i>Hoja:</i>	7/11



<i>Escala:</i> 1:50	 	<i>Grado en</i> <i>Ingeniería</i> <i>Eléctrica</i>	UNIVERSIDAD DE CANTABRIA <i>ETS Ing. Industriales y</i> <i>de Telecomunicaciones</i>	
<i>Nº Plano</i> 8	<i>Título del plano</i> CIRCUITO CALEFACCIÓN		<i>Dibujado</i> J.A. CANO HAZAS	<i>Comprobado</i> I. FERNÁNDEZ
			<i>Fecha</i> JULIO 2019	<i>Idioma</i> ES
			<i>Hoja:</i> 8/11	





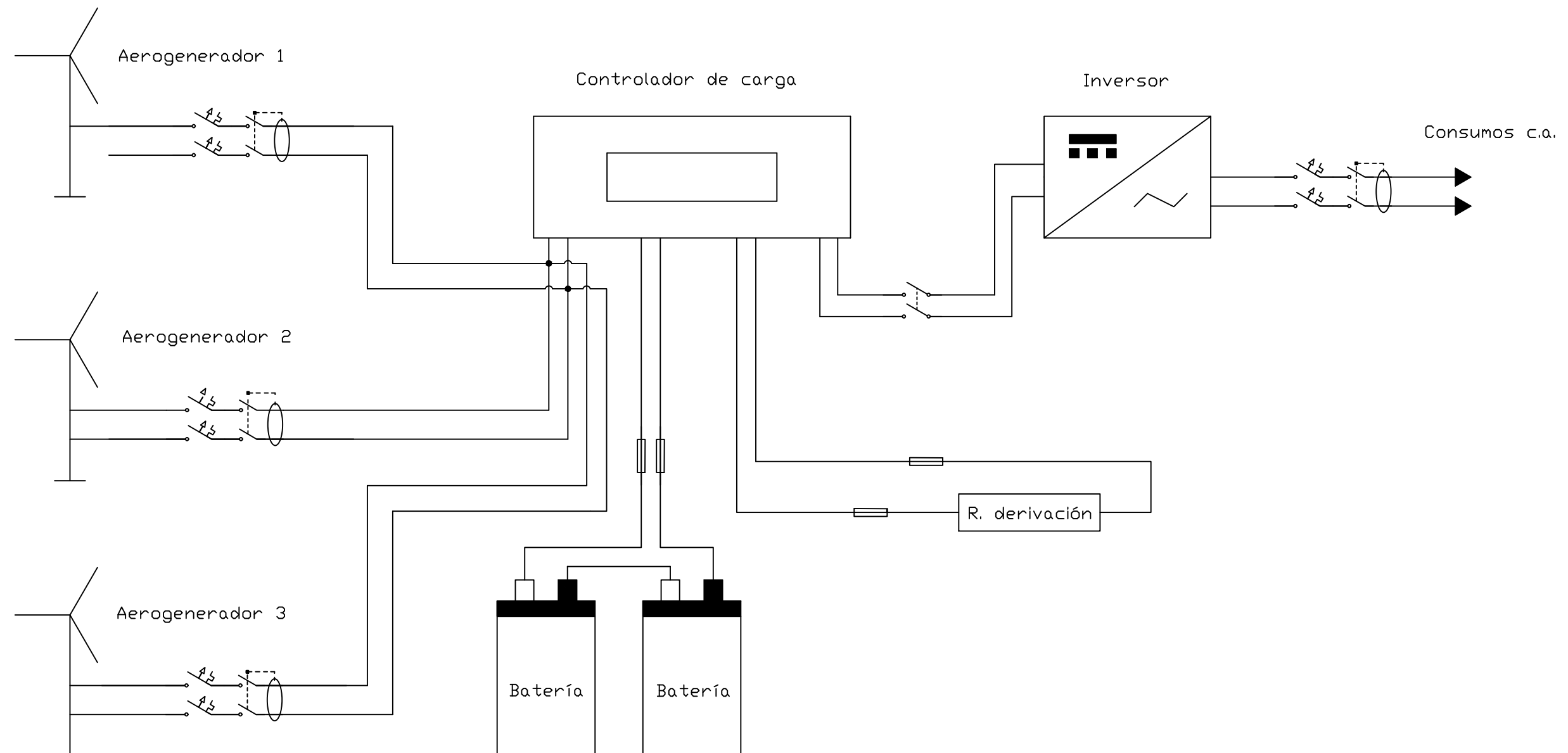
Escala: <i>S/E</i>			Grado en <i>Ingeniería Eléctrica</i>	UNIVERSIDAD DE CANTABRIA <i>ETS Ing. Industriales y de Telecomunicaciones</i>	
Nº Plano <i>9</i>	Titulo del plano <i>DISTRIBUCIÓN CUARTO CALDERAS</i>			<i>Dibujado</i>	<i>J.A. CANO HAZAS</i>
				<i>Comprobado</i>	<i>I. FERNÁNDEZ</i>
				<i>Fecha</i>	<i>JULIO 2019</i>
				<i>Idioma</i>	<i>ES</i>
				<i>Hoja:</i>	<i>9/11</i>





- A.1: Aerogenerador 1
A.2: Aerogenerador 2
A.3: Aerogenerador 3
C: Controlador de carga
B: Batería
I: Inversor
R: Resistencia de derivación

Color rosa: Circuito 4 ($6\text{mm}^2 \times 4\text{m}$)
Color verde: Circuito 3 ($150\text{mm}^2 \times 2\text{m}$)
Color azul: Circuito 2 ($150\text{mm}^2 \times 2\text{m}$)
Color rojo: Circuito 1: A.1 ($1,5\text{mm}^2 \times 11,5\text{m}$) y ($6\text{mm}^2 \times 13\text{m}$)
A.2 ($1,5\text{mm}^2 \times 14,5\text{m}$)
A.3 ($1,5\text{mm}^2 \times 14\text{m}$) y ($6\text{mm}^2 \times 6\text{m}$)

Escala: <i>S/E</i>	 	Grado en Ingeniería Eléctrica	UNIVERSIDAD DE CANTABRIA ETS Ing. Industriales y de Telecomunicaciones	
Nº Plano 10	Título del plano ESQUEMA ELÉCTRICO	Dibujado		J.A. CANO HAZAS
		Comprobado		I. FERNÁNDEZ
		Fecha		JULIO 2019
		Idioma		ES
		Hoja:		10/11



<p>Escala:</p> <p>S/E</p>	 	<p>Grado en</p> <p>Ingeniería</p> <p>Eléctrica</p>	<p>UNIVERSIDAD DE CANTABRIA</p> <p>ETS Ing. Industriales y</p> <p>de Telecomunicaciones</p>	
<p>Nº Plano</p> <p>11</p>	<p>Título del plano</p> <p>ESQUEMA UNIFILAR</p>	<p>Dibujado</p> <p>J.A. CANO HAZAS</p>	<p>Comprobado</p> <p>I. FERNÁNDEZ</p>	
		<p>Fecha</p> <p>JULIO 2019</p>	<p>Idioma</p> <p>ES</p>	
		<p>Hoja:</p> <p>11/11</p>		

DOCUMENTO 4.

PLIEGO DE CONDICIONES

DOCUMENTO 4. PLIEGO DE CONDICIONES

DOCUMENTO 4. PLIEGO DE CONDICIONES	241
1 DISPOSICIONES GENERALES	243
1.1 NATURALEZA Y OBJETO	243
1.2 DOCUMENTOS QUE INTEGRAN EL CONTRATO DE OBRA	243
2 DISPOSICIONES FACULTATIVAS	243
2.1 DELIMITACIÓN DE LAS FUNCIONES DE LOS AGENTES INTERVINIENTES	243
2.1.1 El director facultativo	243
2.1.2 El contratista	244
2.2 OBLIGACIONES Y DERECHOS GENERALES DEL CONTRATISTA....	245
2.2.1 Verificación de los documentos del proyecto	245
2.2.2 Plan de seguridad y salud	246
2.2.3 Oficina en la obra	246
2.2.4 Representación del contratista	246
2.2.5 Presencia del contratista en la obra.....	247
2.2.6 Trabajos no estipulados expresamente	247
2.2.7 Dudas de interpretación, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto	247
2.2.8 Reclamación contra las órdenes de la Dirección Facultativa	248
2.2.9 Libro de órdenes y asistencias.....	248
2.2.10 Recusación por el contratista del personal nombrado por el arquitecto.....	249
2.2.11 Faltas del personal	249
2.2.12 Desperfectos a colindantes.....	249
2.3 RECEPCIÓN DE LAS OBRAS.....	250
2.3.1 Responsabilidad del constructor tras la recepción de las obras	250
2.3.2 Plazo de garantía y garantías generales del contratista	250
2.3.3 Documentación final de la obra	250

2.4 DISPOSICIONES GENERALES RELATIVAS A TRABAJOS, MATERIALES Y MEDIOS AUXILIARES	251
2.4.1 Caminos y accesos.....	251
2.4.2 Replanteo	251
2.4.3 Inicio de la obra. Ritmo de ejecución de los trabajos.....	251
2.4.4 Orden de los trabajos	251
2.4.5 Facilidades para las subcontratas.....	252
2.4.6 Ampliación del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor	252
2.4.7 Responsabilidad de la Dirección Facultativa en el retraso de la obra.....	252
2.4.8 Condiciones generales de ejecución de los trabajos	252
2.4.9 Planos as-built.....	253
2.4.10 Trabajos defectuosos.....	253
2.4.11 Accidentes laborales.....	253
2.4.12 Vicios ocultos	253
2.4.13 Maquinaria y materiales. Procedencia	254
2.4.14 Reconocimiento de los materiales por la dirección facultativa	254
2.4.15 Ensayos, análisis y gastos provocados por ellos	254
2.4.16 Materiales no utilizables	255
2.4.17 Materiales y maquinaria defectuosos.....	255
2.4.18 Limpieza de las obras	255
2.4.19 Obras sin prescripciones.....	255
2.4.20 Plazo de garantía.....	256
2.5 MEDICIONES Y VALORACIONES	256

1 DISPOSICIONES GENERALES

1.1 NATURALEZA Y OBJETO

El presente Pliego General de Condiciones tiene por finalidad la ordenación de las condiciones técnico-facultativas que se han de regir en la ejecución de las obras del presente proyecto según las disposiciones generales y particulares indicadas en el mismo.

1.2 DOCUMENTOS QUE INTEGRAN EL CONTRATO DE OBRA

Integran el contrato los siguientes documentos relacionados por orden de importancia en cuanto al valor de sus especificaciones en caso de omisión o aparente contradicción:

- 1- Las condiciones fijadas en el propio documento de Contrato.
- 2- El Pliego de Condiciones.
- 3- El resto de la documentación de Proyecto (memoria, planos, mediciones y presupuestos).

En cada documento, las especificaciones literales prevalecen sobre las gráficas y en los planos, la cota prevalece sobre la medida a escala.

2 DISPOSICIONES FACULTATIVAS

2.1 DELIMITACIÓN DE LAS FUNCIONES DE LOS AGENTES INTERVINIENTES

2.1.1 El director facultativo

Corresponde al director facultativo de obra:

- Dirigir la obra coordinándola con el proyecto de ejecución y con las normas técnicas.
- Asistir a las obras, cuantas veces lo requiera su naturaleza y complejidad, a fin de resolver las contingencias que se produzcan e impartir las órdenes

complementarias que sean precisas para conseguir la correcta solución técnica.

- Redactar cuando sea requerido el estudio de los sistemas adecuados a los riesgos del trabajo en la realización de la obra y aprobar el Plan de Seguridad e Higiene para la aplicación del mismo.
- Efectuar el replanteo de la obra y preparar el acta correspondiente, suscribiéndola en unión del Constructor o Instalador.
- Elaborar, a requerimiento del promotor o con su conformidad, eventuales modificaciones del proyecto, que vengan exigidas por la marcha de la obra siempre que las mismas se adapten a las correspondientes normativas.
- Comprobar las instalaciones provisionales, medios auxiliares y sistemas de seguridad e higiene en el trabajo, controlando su correcta ejecución.
- Dar conformidad a las certificaciones parciales de obra y la liquidación final.
- Suscribir el acta de replanteo o de comienzo de obra y el certificado final de obra, así como conformar las certificaciones parciales y la liquidación final de las unidades de obra ejecutadas.
- Asesorar al promotor durante el proceso de construcción y especialmente en el acto de la recepción.
- Suscribir el certificado final de la obra para entregarlo al promotor.

2.1.2 El contratista

Corresponde al contratista:

- Ejecutar la obra con sujeción al proyecto, a la legislación aplicable y a las instrucciones del director de obra para alcanzar la calidad exigida en el proyecto.
- Asignar a la obra los medios humanos y materiales que su importancia requiera.
- Organizar los trabajos de construcción, redactando los planes de obra que se precisen y proyectando o autorizando las instalaciones provisionales y medios auxiliares de la obra.
- Elaborar el plan de seguridad y salud de la obra en aplicación del estudio correspondiente, y disponer, en todo caso, la ejecución de las medidas

preventivas, velando por su cumplimiento y por la observación de la normativa vigente en materia de seguridad y salud en el trabajo.

- Formalizar las subcontrataciones de determinadas partes o instalaciones de la obra dentro de los límites establecidos en el contrato.
- Ordenar y dirigir la ejecución material con arreglo al proyecto, a las normas técnicas y a las reglas de la buena construcción. A tal efecto, ostentar la jefatura de todo el personal que intervenga en la obra y coordinar las intervenciones de los subcontratistas.
- Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales y elementos constructivos que se utilicen, comprobando los preparados en obra y rechazando, por iniciativa propia o por prescripción del aparejador o arquitecto técnico, los suministros o prefabricados que no cuenten con las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación.
- Custodiar los libros de órdenes y seguimiento de la obra, así como los de seguridad y salud y el del control de calidad.
- Preparar las certificaciones parciales de obra y la propuesta de liquidación final.
- Suscribir con el promotor las actas de recepción provisional y definitiva.
- Concertar los seguros de accidentes de trabajo y de daños a terceros durante la obra.
- Deberá tener siempre en la obra un número proporcionado de obreros a la extensión de los trabajos.

2.2 OBLIGACIONES Y DERECHOS GENERALES DEL CONTRATISTA

2.2.1 Verificación de los documentos del proyecto

Antes de dar comienzo a las obras, el Contratista consignará por escrito que la documentación aportada le resulta suficiente para la comprensión de la totalidad de la obra contratada o, en caso contrario, solicitará las aclaraciones pertinentes. El Contratista se sujetará a las Leyes, Reglamentos y Ordenanzas vigentes, así como a las que se dicten durante la ejecución de la obra.

2.2.2 Plan de seguridad y salud

El constructor, a la vista del proyecto de ejecución conteniendo, en su caso, el estudio de seguridad y salud, presentará el plan de seguridad y salud de la obra a la aprobación del aparejador o arquitecto técnico de la dirección facultativa.

2.2.3 Oficina en la obra

El constructor habilitará en la obra una oficina en la que existirá una mesa o tablero adecuado, en el que puedan extenderse y consultarse los planos. En dicha oficina tendrá siempre el contratista a disposición de la dirección facultativa:

- El proyecto de ejecución completo.
- La licencia de obras.
- El libro de órdenes y asistencias.
- El plan de seguridad y salud.
- La normativa sobre prevención de riesgos laborales.
- La documentación de los seguros suscritos por el constructor.

2.2.4 Representación del contratista

El contratista tiene la obligación de comunicar a la propiedad la persona designada como su delegado en la obra. Esta persona tendrá el carácter de Jefe de obra, con dedicación plena y con facultades para representarle y adoptar las decisiones que competan a la contrata, es decir tendrá las funciones del Constructor.

Cada oficio ordenará su trabajo armónicamente con los demás procurando siempre facilitar la marcha de los mismos, en ventaja de la buena ejecución y rapidez de la construcción.

El delegado del contratista será un facultativo de grado superior o grado medio según la importancia de las obras que lo requiera.

El Director Facultativo podrá ordenar la paralización de las obras, sin derecho a reclamación alguna en el caso de incumplimiento de estas obligaciones o si encuentra una deficiencia en la falta de cualificación por parte del personal para realizar los trabajos, hasta que se subsane la deficiencia.

2.2.5 Presencia del contratista en la obra

El Jefe de obra o contratista deberá estar presente durante la jornada legal de trabajo por sí mismo o por alguno de sus técnicos delegados y acompañará a la Dirección Facultativa en las visitas que hagan a las obras. Tendrá el deber de prestar servicio a los mismos en la práctica de los reconocimientos que sean necesarios así como facilitarles los datos precisos para la comprobación de mediciones y liquidaciones.

2.2.6 Trabajos no estipulados expresamente

Es obligación de la contrata el ejecutar cuanto sea necesario para la buena realización de los trabajos, aunque no esté expresamente determinado en el proyecto, siempre que sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo ordene la Dirección Facultativa sin sobrepasar los límites de posibilidades impuestos al presupuesto para cada unidad de obra y tipo de ejecución.

2.2.7 Dudas de interpretación, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto

La Dirección Facultativa será la encargada de resolver las dudas que surjan en la interpretación de los documentos del Proyecto o posteriormente en el transcurso de la ejecución de los trabajos. Si se trata de aclaraciones, interpretaciones o modificaciones relativas a los pliegos de condiciones o planos del proyecto, las instrucciones se comunicarán directamente, y por escrito, al constructor. Este estará obligado a devolver dichos documentos, o copias de los mismos, firmados y figurará al pie de todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciba del arquitecto o arquitecto técnico.

Requerimientos de aclaraciones por parte del contratista

Siempre que surjan dichas dudas, el constructor deberá requerir al arquitecto o al arquitecto técnico para obtener las aclaraciones pertinentes para conseguir la correcta interpretación de lo proyectado.

2.2.8 Reclamación contra las órdenes de la Dirección Facultativa

Cualquier reclamación que el contratista quiera realizar contra las órdenes recibidas por parte de la Dirección Facultativa, sólo las podrá presentar a través del arquitecto del proyecto. Dichas reclamaciones se presentarán ante la propiedad, si son de orden económico, y de acuerdo a las condiciones estipuladas en los pliegos de condiciones correspondientes.

Si, en su caso, son disposiciones de orden técnico de la Dirección Facultativa, del arquitecto o arquitecto técnico, no se admitirá reclamación alguna pudiendo el contratista salvar su responsabilidad, si lo considera oportuno en su caso, a través de una exposición razonada al Director Facultativo. Éste, a su vez, podrá contestar en base al acuse recibido, que en todo caso será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

2.2.9 Libro de órdenes y asistencias

Es necesario mantener en todo momento un reconocimiento exacto de la ejecución e incidencias de la obra, por tanto, por medio del Libro de Órdenes y Asistencias quedarán reflejadas todas las incidencias surgidas y todos aquellos datos que permitan detectar con exactitud si la contrata ha cumplido los plazos y fases de ejecución estipulados en el Proyecto. A su vez, es obligación de la Dirección Facultativa dejar constancia de sus visitas e inspecciones, así como, de las incidencias que surjan y las órdenes que se precisen dar a la contrata para la correcta ejecución de las obras estipuladas en el Proyecto.

Si por el motivo que fuese el contratista no estuviese conforme con las directrices impuestas por la Dirección Facultativa, podrá alegar todas aquellas razones que abonen su postura, aportando todas aquellas pruebas que estime oportunas.

2.2.10 Recusación por el contratista del personal nombrado por el arquitecto

El constructor no podrá recusar a los arquitectos, aparejadores o personal designado por estos para la supervisión de las obras. Tampoco podrá sugerir que se designen otros facultativos para los reconocimientos o mediciones.

Si, en su caso, el contratista se ve perjudicado por el trabajo de éstos, se procederá según lo estipulado en el presente Pliego de Condiciones, sin embargo, no se contemplará la perturbación ni la interrupción de los trabajos durante la presente incidencia.

2.2.11 Faltas del personal

La Dirección Facultativa, el arquitecto o arquitecto técnico, en caso de desobediencia, incompetencia o negligencia grave por parte del personal a sus instrucciones, podrá requerir al contratista que aparte de la obra al personal causante de dicha negligencia o perturbación del trabajo.

Subcontrataciones del contratista

El contratista de la obra podrá subcontratar unidades de obra a otros contratistas según lo dispuesto en la legislación específica en esta materia y todo ello sin perjuicio en sus obligaciones como contratista principal en la obra.

2.2.12 Desperfectos a colindantes

En el supuesto caso de que el constructor causase algún desperfecto en construcciones o instalaciones existentes dentro de su entrono de trabajo, será su obligación restaurarlas dejándolas tal y como se encontraban antes de la incidencia.

2.3 RECEPCIÓN DE LAS OBRAS

2.3.1 Responsabilidad del constructor tras la recepción de las obras

Una vez se dé la recepción de las obras sin objeciones, el constructor quedará exento de toda responsabilidad exceptuando lo referente a vicios o defectos de ejecución en la construcción. En este último caso, el constructor tiene la responsabilidad civil de responder ante los daños causados que afecten a elementos de terminación o acabado, derivados de la falta de capacidad profesional o técnica, negligencia o incumplimiento de sus obligaciones como jefe de obra dentro del plazo de un año.

A su vez, si el contratista general subcontrata a otras personas físicas o jurídicas en determinadas partes o instalaciones de la obra, éste será directamente responsable de los daños materiales por vicios o defectos de su ejecución.

2.3.2 Plazo de garantía y garantías generales del contratista

El plazo de garantía viene establecido en el Artículo 6 de la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) y comenzará a contarse a partir de la fecha determinada en el Acta de Recepción de la obra.

El contratista general de la obra debe garantizar todas las obras que ejecute, a la vez que los materiales empleados en ella y su buena manipulación.

2.3.3 Documentación final de la obra

El constructor debe facilitar a la Dirección Facultativa toda la documentación necesaria relativa a la obra y que refleje todas las empresas y profesionales que hayan intervenido. A su vez el arquitecto, ayudado por el contratista y los técnicos que hubieren intervenido, redactarán la documentación final de las obras que se facilitará a la propiedad. Dicha documentación será adjuntada al acta de recepción, con la relación identificativa a las instrucciones de uso y mantenimiento de la vivienda y sus instalaciones. Esta documentación constituye el libro de la vivienda, que ha de ser encargado por el promotor y será entregado a los usuarios finales de la vivienda.

2.4 DISPOSICIONES GENERALES RELATIVAS A TRABAJOS, MATERIALES Y MEDIOS AUXILIARES

2.4.1 Caminos y accesos

El conjunto de los accesos y vallados, y su mantenimiento, de obra se dispondrán por el constructor durante la ejecución de la obra. Por su parte el arquitecto técnico podrá exigir su modificación o mejora si lo considera oportuno.

2.4.2 Replanteo

Como paso previo al inicio de las obras, el contratista replanteará el proyecto en el terreno, en presencia de la Dirección Facultativa, marcando las referencias principales para la ejecución de la obra. Dichos trabajos se consideran a cargo del contratista y deberán de ser firmados por las tres partes interesadas en el proyecto, el propio contratista, la propiedad y la Dirección Facultativa.

El contratista dejará en manos del arquitecto técnico la aprobación del replanteo y, una vez éste haya dado su conformidad, se preparará un acta acompañada de un plano aprobado por el arquitecto. Por último, el contratista deberá facilitar todos los medios necesarios para la ejecución de los replanteos establecidos.

2.4.3 Inicio de la obra. Ritmo de ejecución de los trabajos

El contratista deberá dar comienzo a la obra de acuerdo a los plazos establecidos, de tal forma que las diferentes fases de la obra queden finalizadas dentro de los periodos parciales, y por tanto, se consiga la ejecución final de la obra en el plazo acordado.

Con una antelación de 3 días, antes del inicio de las obras, el contratista deberá contar con la aprobación del arquitecto y del arquitecto técnico para dar comienzo a los trabajos.

2.4.4 Orden de los trabajos

La determinación del orden de los trabajos es responsabilidad de la contrata salvo que, por circunstancias de orden técnico, la Dirección facultativa estime oportuno su modificación.

2.4.5 Facilidades para las subcontratas

En función de los requerimientos de la Dirección Facultativa, el contratista general de la obra deberá proporcionar las facilidades pertinentes, para el correcto desarrollo y ejecución de los trabajos, a los subcontratistas que intervengan en la obra. Estas facilidades no conllevarán compensaciones económicas entre contratistas por el uso de los servicios auxiliares o suministros de energía. Si se produjeran disputas entre los contratistas, atenderán a lo que resuelva la Dirección Facultativa.

2.4.6 Ampliación del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor

En el caso de que se requiera, por motivo imprevisto o accidente, ampliar el proyecto, no se interrumpirán los trabajos establecidos sino que se continuarán siguiendo las instrucciones de la Dirección Facultativa en lo que se tramita el proyecto reformado.

El contratista estará obligado a desempeñar con el personal y materiales disponibles todo aquello que la Dirección disponga para apeos, apuntalamientos, derribos o cualquier otra obra de carácter urgente.

2.4.7 Responsabilidad de la Dirección Facultativa en el retraso de la obra

El contratista no puede excusarse de no cumplir los plazos establecidos alegando carencia de planos u órdenes de la Dirección Facultativa, salvo que habiéndolo solicitado previamente por escrito no se les hubiera proporcionado.

2.4.8 Condiciones generales de ejecución de los trabajos

Todos los trabajos que se realicen deberán seguir estrictamente lo estipulado en el Proyecto, así como cumplir las modificaciones del mismo que hayan sido aprobadas previamente. También deberán estar sujetos a las órdenes e instrucciones que, bajo su responsabilidad y por escrito, dictamine la Dirección

Facultativa, siempre cumpliendo las restricciones presupuestarias y de conformidad acordadas en el proyecto.

2.4.9 Planos as-built

El contratista tendrá como obligación entregar a la Dirección Facultativa los planos as-built definitivos para que quede constancia del estado definitivo de la obra, recogiendo en ellos todas las modificaciones implementadas en el Proyecto base.

2.4.10 Trabajos defectuosos

Es deber del constructor emplear aquellos materiales que cumplan las condiciones generales y particulares de índole técnica exigidas en las Disposiciones Técnicas y Generales del presente Pliego de Condiciones. Por tanto, hasta la recepción definitiva de la obra, es el responsable de cualquier falta o defecto que pudiera encontrarse en los trabajos realizados hasta el momento, bien por mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados. Todo ello sin excusar la responsabilidad que compete a la Dirección Facultativa ni las revisiones realizadas a dichos trabajos en las certificaciones parciales de obra. Es, por tanto, responsabilidad de la Dirección Facultativa advertir vicios o defectos en los trabajos ejecutados o en la calidad técnica de los materiales y equipos empleados.

2.4.11 Accidentes laborales

El contratista es el principal responsable de los accidentes que pudieran ocurrir sobre sus trabajadores por ignorancia o descuido, respondiendo ante los Tribunales y ateniéndose a la legislación vigente. Por ello, en cuanto el Director Facultativo advierta posibles vicios o defectos en los trabajos o en los materiales y equipos empleados durante el transcurso de la obra, dispondrá que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de nuevo a expensas de la contrata.

2.4.12 Vicios ocultos

En el caso de que la Dirección Facultativa tuviese suficientes motivos para justificar la existencia de posibles vicios ocultos de construcción, tendrá la autoridad para ordenar antes de la recepción definitiva los ensayos que crea

necesarios para comprobar los trabajos que considere defectuosos, dando constancia al arquitecto en todo momento.

2.4.13 Maquinaria y materiales. Procedencia

El contratista tendrá total libertad para provisionarse de aquellos materiales y aparatos que necesite, excepto en aquellos casos particulares que especifiquen determinada calidad de los mismos. A su vez tiene como obligación, antes de proceder a su empleo u obtención, notificar a la Dirección Facultativa un listado detallado de los materiales y maquinaria que se vayan a emplear, y donde se especifiquen todas aquellas indicaciones relativas a las marcas, calidades, procedencia e idoneidad.

2.4.14 Reconocimiento de los materiales por la dirección facultativa

Los materiales deberán ser reconocidos y aprobados por la dirección facultativa antes de la puesta en obra, para lo cual el contratista debe suministrar 2 muestras del material acompañadas de su documentación.

Aquellos materiales rechazados por la dirección facultativa deberán ser retirados de la obra lo más rápido posible.

2.4.15 Ensayos, análisis y gastos provocados por ellos

La dirección facultativa podrá efectuar ensayos pruebas y análisis de materiales de la obra siempre que lo crea necesario, para así comprobar que los materiales y la construcción de obra están en las condiciones exigidas por el presente pliego de materiales.

Los gastos generados por todos estos ensayos y pruebas serán por parte del contratista. Todo ensayo que no haya resultado satisfactorio podrá volver a comenzarse a cargo del mismo.

2.4.16 Materiales no utilizables

El constructor por cuenta propia deberá transportar y colocar todos aquellos materiales que no sean utilizables en la obra en un lugar adecuado.

Se retirarán de ella cuando así lo ordene la dirección facultativa, tasándolos previamente, en función del valor de dichos materiales y los costes de transporte de los mismos.

2.4.17 Materiales y maquinaria defectuosos

Cuando los materiales o maquinaria utilizada en la obra no cumpliera con las condiciones del presente pliego de condiciones la dirección facultativa podrá dar orden al contratista de sustituirlos por otros que si los cumplan o que llenen el objeto de destino de los mismos.

El contratista deberá realizar la retirada de estos elementos en un plazo máximo de 15 días, si no es así podrá realizarlo el propietario siendo los gastos cuenta del contratista.

2.4.18 Limpieza de las obras

El contratista deberá mantener limpias las obras y su entorno, con ello se refiere a despejadas de escombros y materiales sobrantes, instalaciones provisionales que no sean para usos futuros, etc.

Deberá realizar y adoptar también todas aquellas labores de limpieza que sean pertinentes para mantener el buen aspecto de la obra.

2.4.19 Obras sin prescripciones

En la realización de los trabajos para la construcción de las obras que estén sin definir ni en el presente pliego de condiciones ni en el resto de documentos del proyecto, el constructor deberá seguir las indicaciones de la dirección facultativa y las reglas y prácticas de una buena construcción.

2.4.20 Plazo de garantía

El plazo de garantía deberá ser de 9 meses para contratos a particulares y de 1 año para contratos a administraciones públicas. Durante este plazo el contratista corregirá todos aquellos defectos observados, y reparará las averías producidas por defecto de obra, todo ello por su cuenta y sin indemnización alguna al propietario.

2.5 MEDICIONES Y VALORACIONES

La contratación de la obra se realiza a precio cerrado. Será el contratista quien deberá haber realizados las pertinentes mediciones y con ello valorar el precio de la obra. Todas aquellas discrepancias en torno a este punto se realizarán según el criterio del director facultativo.

El contratista deberá a su vez realizar un estudio detallado de todos los documentos del proyecto, en caso de no detectar error alguno el precio a tanto alzado no se verá afectado por disposición alguna.

DOCUMENTO 5. MEDICIONES Y PRESUPUESTO

DOCUMENTO 5. MEDICIONES Y PRESUPUESTO

1 MEDICIONES.....	259
1.1 CAPÍTULO 1. SISTEMA SOLAR-TÉRMICO	259
1.2 CAPÍTULO 2. SISTEMA AUXILIAR	260
1.3 CAPÍTULO 3. SISTEMA EÓLICO	261
1.4 CAPÍTULO 4. MAQUINARIA AUXILIAR	262
1.5 CAPÍTULO 5. MANO DE OBRA	262
1.6 CAPÍTULO 6. VARIOS	263
2 PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL.....	264
2.1 CAPÍTULO 1: SISTEMA SOLAR-TÉRMICO	264
2.2 CAPÍTULO 2. SISTEMA AUXILIAR	265
2.3 CAPÍTULO 3. SISTEMA EÓLICO	266
2.4 CAPÍTULO 4. MAQUINARIA AUXILIAR	267
2.5 CAPÍTULO 5. MANO DE OBRA	268
2.6 CAPÍTULO 6. VARIOS	268
3 PRESUPUESTO EJECUCIÓN POR CONTRATA.....	269

1 MEDICIONES

1.1 CAPÍTULO 1. SISTEMA SOLAR-TÉRMICO

Código	Descripción	Medición	Uds.
1	Sistema solar-térmico		
1.1	Circuito solar primario		
1.1.1	Panel solar-térmico de la marca SAUNIER DUVAL modelo SRV 2.3	1	Ud.
1.1.2	Soporte para cubierta inclinada para 1 captador de la marca SAUNIER DUVAL	1	Ud.
1.1.3	Intercambiador de calor de placas, ALFA LAVAL modelo CBH16	1	Ud.
1.1.4	Bomba circuladora solar de la marca HALM modelo HEP Optimo Basic 20-6.0 G130	1	Ud.
1.1.5	Vaso expansión cerrado de la marca IBAIONDO modelo 2 SMF	1	Ud.
1.1.6	Sistema de regulación y control, PCE IBERICA modelo PCE-BTC83	1	Ud.
1.1.7	Válvula de seguridad de la marca DUCO modelo KM 1/2" x 1/2" H-H	1	Ud.
1.1.8	Tubería de cobre rígida de 10 mm de diámetro	33	ml
1.1.9	Coquillas aislantes de la marca ARMAFLEX SH 35 mm de diámetro	33	ml
1.1.10	Disolución de Propilenglicol de la marca SALVADOR ESCODA modelo ESCOGLICOL PLUS FLD 160 10 litros	1	Ud.
1.2	Circuito solar secundario		
1.2.1	Acumulador vertical para ACS de acero vitrificado directo de la marca TERMICOL modelo ATK 200 D de 200 litros	1	Ud.
1.2.2	Bomba circuladora solar de la marca HALM modelo HEP Optimo Basic 15-6.0 G130	1	Ud.
1.2.3	Vaso expansión cerrado de la marca IBAIONDO modelo 24 SMF	1	Ud.
1.2.4	Tubería de cobre rígida de 10 mm de diámetro	7	ml
1.2.5	Coquillas aislantes de la marca ARMAFLEX SH 25 mm de diámetro	7	ml

1.2 CAPÍTULO 2. SISTEMA AUXILIAR

Código	Descripción	Medición	Uds.
2	Sistema auxiliar		
2.1	Caldera de Biomasa para pellets de la marca ANSELMO COLA modelo DOMUS FIRE HR C24	1	Ud.
2.2	Bomba circuladora ACS planta baja de la marca WILO Stratos PICO 25/1-6-130	1	Ud.
2.3	Bomba circuladora ACS planta 1ª de la marca WILO modelo Stratos PICO 25/1-4-130	1	Ud.
2.4	Bomba circuladora calefacción plantas baja y 1ª de la marca WILO modelo Yonos PICO 25/1-6-130	2	Ud.
2.5	Interacumulador auxiliar vertical para ACS de la marca TERMICOL modelo ATN 80 SM de 80 litros	1	Ud.
2.6	Sala empleada para almacenaje de pellets de 1x1m y altura de 3 m con paredes ignífugas	1	Ud.
2.7	Chimenea modular metálica de doble pared del fabricante JEREMIAS CHIMNEY SYSTEMS modelo TWIN-BIOMASS 100/150 y 9 metros de altura	1	Ud.
2.8	Sistema de alimentación de pellets mediante tornillo sinfín de espiral flexible de 3,5 metros	1	Ud.

1.3 CAPÍTULO 3. SISTEMA EÓLICO

Código	Descripción	Medición	Uds.
3	Sistema eólico		
3.1	Componentes		
3.1.1	Aerogenerador de la marca ENAIR modelo E30PRO de 3000 W de potencia	3	Ud.
3.1.2	Torre de la marca ENAIR cuatripata auto-soportable P400 - 2,5m de celosía de acero	3	Ud.
3.1.3	Controlador de carga de la marca ENAIR modelo WIND INTERFACE PRO	1	Ud.
3.1.4	Inversor monofásico de corriente cc/ca de la marca SOLIS modelo 1P10K-4G de 10 kW de potencia	1	Ud.
3.1.5	Batería de la marca TUDOR ENERSOL-T de 24 V/1150 Ah formada por 12 vasos	2	Ud.
3.1.6	Edificación de 3,5 x 4m y 2,5 m de altura para alojar los componentes de la instalación	1	Ud.
3.2	Instalación eléctrica		
3.2.1	Pica de puesta a tierra de acero galvanizado de 14 mm de diámetro y 2m de longitud	2	Ud.
3.2.2	Conductor de cobre desnudo de 35 mm ² para la puesta a tierra	6	ml
3.2.3	Grapa de toma de tierra de 14 mm de diámetro	2	Ud.
3.2.4	Cable multipolar RZ con conductor de cobre con aislamiento de polietileno reticulado XLPE de 50 mm ² de sección puesta a tierra de los aerogeneradores	60	ml
3.2.5	Cable multipolar (3 F+N) RZ con conductor de cobre con aislamiento de polietileno reticulado XLPE de 1,5 mm ² de sección	40	ml
3.2.6	Cable multipolar (3 F+N) RZ con conductor de cobre con aislamiento de polietileno reticulado XLPE de 6 mm ² de sección	19	ml
3.2.7	Cable multipolar (F+N) RZ con conductor de cobre con aislamiento de polietileno reticulado XLPE de 6 mm ² de sección	4	ml

3.2.8	Cable multipolar (F+N) RZ con conductor de cobre con aislamiento de polietileno reticulado XLPE de 150 mm ² de sección	4	ml
3.2.9	Tubo corrugado reforzado de doble capa de PVC de 50 mm ² de sección	23	ml
3.2.10	Tubo corrugado reforzado de doble capa de PVC de 16 mm ² de sección	40	ml
3.2.11	Fusible NH3L gPV 1000 V _{dc} 400A	4	Ud.
3.2.12	Interruptor magnetotermico trifásico de 25 A de la marca HAGER	3	Ud.
3.2.13	Interruptor magnetotermico monofásico de 40 A de la marca HAGER	1	Ud.
3.2.14	Interruptor diferencial trifásico de 25 A de la marca SIMON	3	Ud.
3.2.15	Interruptor diferencial monofásico de 40 A de la marca SIMON	1	Ud.

1.4 CAPÍTULO 4. MAQUINARIA AUXILIAR

Código	Descripción	Medición	Uds.
4	Maquinaria auxiliar		
4.1	Transporte de material incluida carga y descarga	4	h

1.5 CAPÍTULO 5. MANO DE OBRA

Código	Descripción	Medición	Uds.
5	Mano de obra		
5.1	Oficial de 1ª Instalación de climatización y ACS	80	h
5.2	Oficial de 2ª Instalación de climatización y ACS	80	h
5.3	Oficial de 1ª Instalación de electricidad	80	h
5.4	Oficial de 2ª Instalación de electricidad	80	h
5.5	Operario	40	h

1.6 CAPÍTULO 6. VARIOS

Código	Descripción	Medición	Uds.
6	Varios		
6.1	Puesta en marcha y formación en el manejo de la instalación solar	1	Uds
6.2	Puesta en marcha y formación en el manejo de la caldera de biomasa	1	Uds
6.3	Puesta en marcha y formación en el manejo de la instalación eléctrica	1	Uds

2 PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL

2.1 CAPÍTULO 1: SISTEMA SOLAR-TÉRMICO

Código	Descripción	Precio (€)	Medición	Total
1	Sistema solar			
1.1	Circuito solar primario			
1.1.1	Panel solar-térmico de la marca SAUNIER DUVAL modelo SRV 2.3	605	1	605
1.1.2	Soporte para cubierta inclinada para 1 captador de la marca SAUNIER DUVAL	150	1	150
1.1.3	Intercambiador de calor de placas, ALFA LAVAL modelo CBH16	232	1	232
1.1.4	Bomba circuladora solar de la marca HALM modelo HEP Optimo Basic 20-6.0 G130	178	1	178
1.1.5	Vaso expansión cerrado de la marca IBAIONDO modelo 2 SMF	16	1	16
1.1.6	Sistema de regulación y control, PCE IBERICA modelo PCE-BTC83	146	1	146
1.1.7	Válvula de seguridad de la marca DUCO modelo KM 1/2" x 1/2" H-H	13	1	13
1.1.8	Tubería de cobre rígida de 10 mm de diámetro	2,62	33	86,46
1.1.9	Coquillas aislantes de la marca ARMAFLEX SH 35 mm de diámetro	22,3	33	735,9
1.1.10	Disolución de Propilenglicol de la marca SALVADOR ESCODA modelo ESCOGLICOL PLUS FLD 160 10 litros	50	1	50
Total Circuito solar primario				2212,36
1.2	Circuito solar Secundario			
1.2.1	Acumulador vertical para ACS de acero vitrificado directo de la marca TERMICOL modelo ATK 200 D de 200 litros	715	1	715
1.2.2	Bomba circuladora solar de la marca HALM modelo HEP Optimo Basic 15-6.0 G130	184	1	184
1.2.3	Vaso expansión cerrado de la marca IBAIONDO modelo 24 SMF	52	1	52
1.2.4	Tubería de cobre rígida de 10 mm de diámetro	2,62	7	18,34
1.2.5	Coquillas aislantes de la marca ARMAFLEX SH 25 mm de diámetro	6,6	7	46,2
Total Circuito solar secundario				1015,54
Total Sistema solar (€)				3227,9

2.2 CAPÍTULO 2. SISTEMA AUXILIAR

Código	Descripción	Precio (€)	Medición	Total
2	Sistema Auxiliar			
2.1	Caldera de Biomasa para pellets de la marca ANSELMO COLA modelo DOMUS FIRE HR C24	4185	1	4185
2.2	Bomba circuladora ACS planta baja de la marca WILO Stratos PICO 25/1-6-130	416	1	416
2.3	Bomba circuladora ACS planta 1ª de la marca WILO modelo Stratos PICO 25/1-4-130	368	1	368
2.4	Bomba circuladora calefacción plantas baja y 1ª de la marca WILO modelo Yonos PICO 25/1-6-130	324	2	648
2.5	Interacumulador auxiliar vertical para ACS de la marca TERMICOL modelo ATN 80 SM de 80 litros	240	1	240
2.6	Sala empleada para almacenaje de pellets de 1x1m y altura de 3 m con paredes ignifugas	2430	1	2430
2.7	Chimenea modular metálica de doble pared del fabricante JEREMIAS CHIMNEY SYSTEMS modelo TWIN-BIOMASS 100/150 y 9 metros de altura	1245	1	1245
2.8	Sistema de alimentación de pellets mediante tornillo sinfín de espiral flexible de 3,5 metros	1145	1	1145
Total Sistema auxiliar (€)				10677

2.3 CAPÍTULO 3. SISTEMA EÓLICO

Código	Descripción	Precio (€)	Medición	Total
3	Sistema Eólico			
3.1	Componentes			
3.1.1	Aerogenerador de la marca ENAIR modelo E30PRO de 3000 W de potencia	6600	3	19800
3.1.2	Torre de la marca ENAIR cuatripata auto-soportable P400 - 2,5m de celosía de acero	415	3	1245
3.1.3	Controlador de carga de la marca ENAIR modelo WIND INTERFACE PRO	890	1	890
3.1.4	Inversor monofásico de corriente cc/ca de la marca SOLIS modelo 1P10K-4G de 10 kW de potencia	1653	1	1653
3.1.5	Batería de la marca TUDOR ENERSOL-T de 24 V/1150 Ah formada por 12 vasos	3430	2	6860
3.1.6	Edificación de 3,5 x 4m y 2,5 m de altura para alojar los componentes de la instalación	625	1	625
Total Componentes (€)				31073
3.2	Instalación eléctrica			
3.2.1	Pica de puesta a tierra de acero galvanizado de 14 mm de diámetro y 2m de longitud	28	2	56
3.2.2	Conductor de cobre desnudo de 35 mm ² para la puesta a tierra	3,59	6	21,54
3.2.3	Grapa de toma de tierra de 14 mm de diámetro	3,2	2	6,4
3.2.4	Cable multipolar RZ con conductor de cobre con aislamiento de polietileno reticulado XLPE de 50 mm ² de sección puesta a tierra de los aerogeneradores	5,3	60	318
3.2.5	Cable multipolar (3 F+N) RZ con conductor de cobre con aislamiento de polietileno reticulado XLPE de 1,5 mm ² de sección	1,16	40	46,4
3.2.6	Cable multipolar (3 F+N) RZ con conductor de cobre con aislamiento de polietileno reticulado XLPE de 6 mm ² de sección	2,89	19	54,91

3.2.7	Cable multipolar (F+N) RZ con conductor de cobre con aislamiento de polietileno reticulado XLPE de 6 mm ² de sección	1,57	4	6,28
3.2.8	Cable multipolar (F+N) RZ con conductor de cobre con aislamiento de polietileno reticulado XLPE de 150 mm ² de sección	18,72	4	74,88
3.2.9	Tubo corrugado reforzado de doble capa de PVC de 50 mm ² de sección	0,88	23	20,24
3.2.10	Tubo corrugado reforzado de doble capa de PVC de 16 mm ² de sección	0,19	40	7,6
3.2.11	Fusible NH3L gPV 1000 V _{dc} 400A	221	4	884
3.2.12	Interruptor magnetotermico trifásico de 25 A de la marca HAGER	58	3	174
3.2.13	Interruptor magnetotermico monofásico de 40 A de la marca HAGER	21	1	21
3.2.14	Interruptor diferencial trifásico de 25 A de la marca SIMON	130	3	390
3.2.15	Interruptor diferencial monofásico de 40 A de la marca SIMON	16	1	16
Total Instalación eléctrica (€)				2097,25
Total Sistema eólico (€)				33170,25

2.4 CAPÍTULO 4. MAQUINARIA AUXILIAR

Código	Descripción	Precio (€)	Medición	Total
4	Maquinaria auxiliar			
4.1	Transporte de material incluida carga y descarga	120	4	480
Total Maquinaria auxiliar (€)				480

2.5 CAPÍTULO 5. MANO DE OBRA

Código	Descripción	Precio (€)	Medición	Total
5	Mano de obra			
5.1	Oficial de 1ª Instalación de climatización y ACS	20	80	1600
5.2	Oficial de 2ª Instalación de climatización y ACS	15	80	1200
5.3	Oficial de 1ª Instalación de electricidad	20	80	1600
5.4	Oficial de 2ª Instalación de electricidad	15	80	1200
5.5	Operario	12	40	480
Total mano de obra (€)				6080

2.6 CAPÍTULO 6. VARIOS

Código	Descripción	Precio (€)	Medición	Total
6	Varios			
6.1	Puesta en marcha y formación en el manejo de la instalación solar	165	1	150
6.2	Puesta en marcha y formación en el manejo de la caldera de biomasa	165	1	150
6.3	Puesta en marcha y formación en el manejo de la instalación eléctrica	165	1	150
Total Varios (€)				450

3 PRESUPUESTO EJECUCIÓN POR CONTRATA

Código	Descripción	Total (€)
1	Sistema solar	3227,9
2	Sistema Auxiliar	10677
3	Sistema Eólico	33170,25
4	Maquinaria auxiliar	480
5	Mano de obra	6080
6	Varios	450
TOTAL PRESUPUESTO EJECUCION MATERIAL (€)		54085,15
Gastos generales (13%)		7031,07
Beneficio industrial (6%)		3245,11
Total parcial (€)		64361,33
I.V.A (21%)		13515,88
TOTAL PRESUPUESTO EJECUCION POR CONTRATA (€)		77877,21

El presupuesto asciende a la cantidad de **SETENTA Y SIETE MIL OCHOCIENTOS SETENTA Y SIETE EUROS CON VEINTIÚN CENTIMOS (77877,21 €)**